

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра

«Промышленная электроника»

(наименование)

11.03.04 Электроника и микроэлектроника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Промышленная электроника

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Сетевой блок питания постоянного напряжения

Обучающийся

С. О. Сохибназаров

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, М. В. Позднов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультант

к.п.н., доцент, С.А. Гудкова

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

Аннотация

Объем 66 с., 33 рис., 12 табл., 33 источника
ИСТОЧНИК ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ, ИСТОЧНИК
БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ.

Объектом исследования является сетевой источник бесперебойного питания, имеющий выход с постоянным и переменными напряжениями.

Цель работы: разработка сетевого источника бесперебойного питания, имеющего выхода с постоянным и переменными напряжениями.

Задачи работы:

- Обзор состояния вопроса
- Разработка силовой части схемы
- Разработка системы управления
- Проведение математического моделирования работы

Данные задачи решены в 3 главах работы.

Степень внедрения: теоретически рассчитаны параметры системы, разработаны схемы и выбраны элементы, произведено математическое моделирование работы.

В данной работе происходит разработка сетевого источника бесперебойного питания, имеющего выход с постоянным и переменными напряжениями. Выполнен обзор состояния вопроса, расчет электрической схемы, проведено математическое моделирование. Разработанная система имеет гальваническую развязку выходных напряжений и способна работать в случае пропадания напряжения в питающей сети. Система может быть применена в качестве источника бесперебойного питания для постоянного и переменного напряжений.

Для расчета и моделирования режимов работы электрической схемы использовались программные пакеты MatLab /Simulink. Математические расчеты были проведены в пакете MathCad.

Abstract

The title of the bachelor's thesis is « AC DC Power Supply Unit».

The bachelor's thesis consists of an introduction, 3 parts, a conclusion, 33 picture, 12 tables, list of references including 9 foreign sources and the graphic part on 6 A1 sheets.

The object of research is an uninterruptible power supply with an output with constant and alternating voltages.

The aim of the bachelor's thesis is to develop of an uninterruptible power supply network.

We start with the statement of the problem and then logically pass over to its possible solutions. We then analyze the literature concerning our problem.

We give a review of possible solutions and choose the most suitable ones, develop an electrical circuit diagram, carry out theoretical calculations and select elements.

The key issue of the bachelor's thesis is the presence of constant and alternating output voltages, as well as the ability to work independently for 30 minutes

In conclusion we'd like to stress that theoretically calculated system parameters, developed a scheme, selected elements and mathematical modeling was performed.

This work is of interest to readers involved in electronics.

The field of application of the developed system is personal computers and other electronic equipment in need of an uninterruptible power supply with alternating or constant voltage.

Nevertheless, more experimental data are required.

Содержание

Введение.....	5
1 Состояние вопроса	6
1.1 Анализ известных решений источников бесперебойного питания	6
1.2 Анализ и выбор структуры и блоков силовой части	13
1.3 Анализ решений автономных источников энергии	17
1.4 Анализ схемных решений зарядного устройства.....	19
1.5 Анализ схемных решений инвертора	22
1.6 Анализ схемных решений дополнительных элементов	25
2 Разработка силовой части	27
2.1 Описание силовой схемы разрабатываемого устройства.....	27
2.2 Расчет зарядного устройства и фильтра, выбор их элементов	29
2.3 Расчет инвертора и снабберных цепей, выбор их элементов	30
2.4 Расчет согласующего трансформатора и его элементов	34
2.5. Математическое моделирование.....	41
3 Разработка системы управления.....	44
3.1. Функциональная схема системы управления	44
3.2 Схема управления ИБП.....	46
3.3 Схема питания микроконтроллера	57
Заключение	60
Список используемой литературы	61
Приложение А Перечень элементов	64

Введение

Сетевой блок питания постоянного напряжения – это блок питания, который запитывается от сети переменного напряжения 220 В, 50 Гц и выдает на своем выходе заданное постоянное напряжение. Такие блоки питания очень широко распространены и применяются для большинства электронной бытовой техники: для зарядки телефонов, питания телевизоров, ноутбуков и т.д. Так же к ним относятся компьютерные блоки питания, вырабатывающие на своем выходе не одно, а сразу несколько необходимых уровней напряжения. Номенклатура таких блоков питания широка, а цены на готовые изделия китайского производства малы, поэтому конкурировать с ними посредством новой разработки довольно проблематично.

Так же существуют источники бесперебойного питания - ИБП (UPS- Uninterruptible Power Supply), обеспечивающие выходное переменное напряжение в случае пропадания сетевого. Их применяют в случаях, для которых пропадание напряжения может быть фатальным: компьютерные системы и другая микропроцессорная техника; охранные и пожарные системы; специальные системы медицинского обеспечения; системы управления химическим производством. В таких блоках энергия берется из сети и запасается в аккумуляторных батареях, а затем преобразуется обратно в переменное напряжение (220 В 50 Гц). В ряде случаев необходимо получение постоянного напряжения порядка 12 В (например, для зарядки раций в походных условиях). Такое напряжение является стандартным для автомобильной электросети и под него разработано большое количество потребителей электроэнергии. Напряжение можно получить подключив к выходу ИБП (220 В 50 Гц) блок питания 12 В, но это решение приведет к излишнему преобразованию энергии (уменьшению КПД).

В данной ВКР разрабатывается сетевой блок бесперебойного питания, имеющий выход с переменным напряжением (220 В 50 Гц) и постоянным нестабилизированным напряжением 12В (выход с аккумуляторной батареи).

1 Состояние вопроса

1.1 Анализ известных решений источников бесперебойного питания

«Несмотря на изобилие различных схемных решений, в индустрии источников бесперебойного питания UPS (ИБП) сложились некоторые типовые схемы построения (топологии) источников бесперебойного питания [4, 33]. Рассмотрим их более подробно.

Топология Standby (Off-Line)

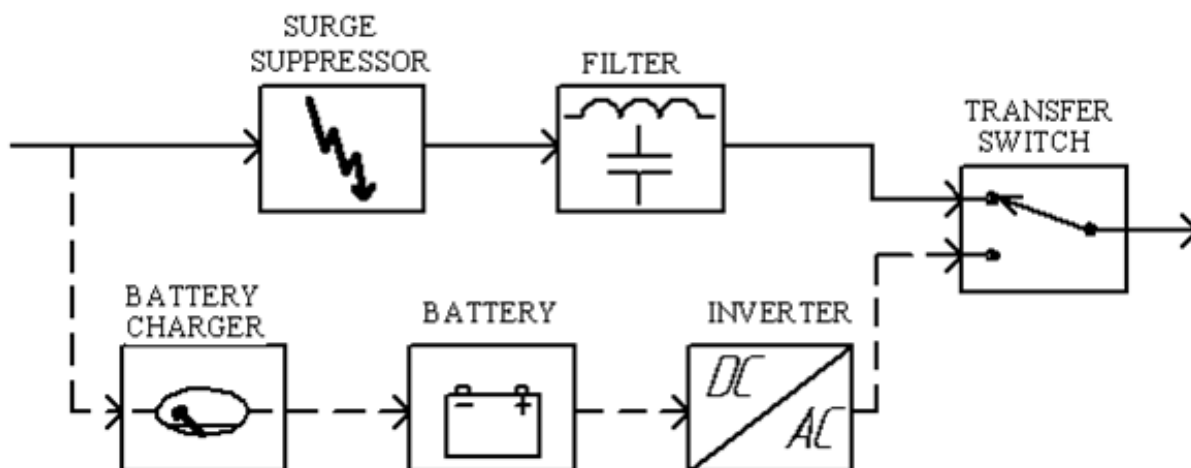


Рисунок 1 – Off-Line источник бесперебойного питания.

UPS, построенный по данной схеме, нередко называют термином "Off-Line UPS". В каждый конкретный момент времени он может находиться в одном из 2 режимов работы - Stand-by или On-line. В случае, когда напряжение в сети находится в допустимых пределах (Standby mode), transfer switch переключён на протекание тока нагрузки по цепи "Surge suppressor - Filter". В этом режиме UPS ничем не отличается от обыкновенного сетевого фильтра. Никакой стабилизации напряжения не происходит.»[11]

«Во время работы в этом режиме также происходит зарядка аккумуляторных батарей UPS. В случае выхода напряжения сети за допустимые пределы, transfer switch переключается на питание нагрузки по цепи "Battery - DC/AC inverter" (On-line mode), т.е. от энергии аккумуляторной батареи, преобразуемой инвертором в AC 220V. Так как переключение контактов и запуск инвертора не могут происходить мгновенно, питание нагрузки будет прервано на некоторое время (Transfer Time). Большинство Standby UPS обеспечивают Transfer Time порядка 4-8 ms. Особенность данной системы в том, что переключение в On-Line при выходе напряжения сети за допустимые пределы происходит немедленно, а возврат в Standby mode - с обязательной задержкой в несколько секунд. Иначе, при многократных бросках напряжения в сети, происходило бы непрерывное переключение Standby/On-Line и обратно, что привело бы к значительным искажениям тока нагрузки и возможному выходу ее из строя или к сбою в ее работе. При этом следует учесть, что данная схема обычно не обладает возможностью стабилизации напряжения при работе в Standby mode и, следовательно, переходит в On-Line при каждом отклонении напряжения сети. Разряд аккумуляторной батареи происходит намного быстрее, чем обратный заряд.

Следовательно, для применения в случае низкого качества питающей сети данная топология UPS малоприспособна по нескольким причинам:

- При частых переходах в On-Line батарея достаточно быстро разряжается, не успевая восстановить заряд за время Standby mode, в результате чего UPS теряет способность обеспечить аварийное питание нагрузки в течение требуемого времени;
- Частое повторение циклов разряд/заряд сокращает срок службы аккумуляторных батарей.
- Несинусоидальное выходное напряжение при питании от аккумуляторной батареи.»[11]

«Тем не менее, по данной схеме построены многие широко распространённые дешёвые UPS 2..5-летней давности разработки (APC Back-UPS, Para Systems MinuteMan A-series, PowerCom UPS-600, Sendon UPS-500, Leadman LU-550 и т.п.) с мощностями от 0.2 до 1.5-2 kVA.

Топология Line-Interactive

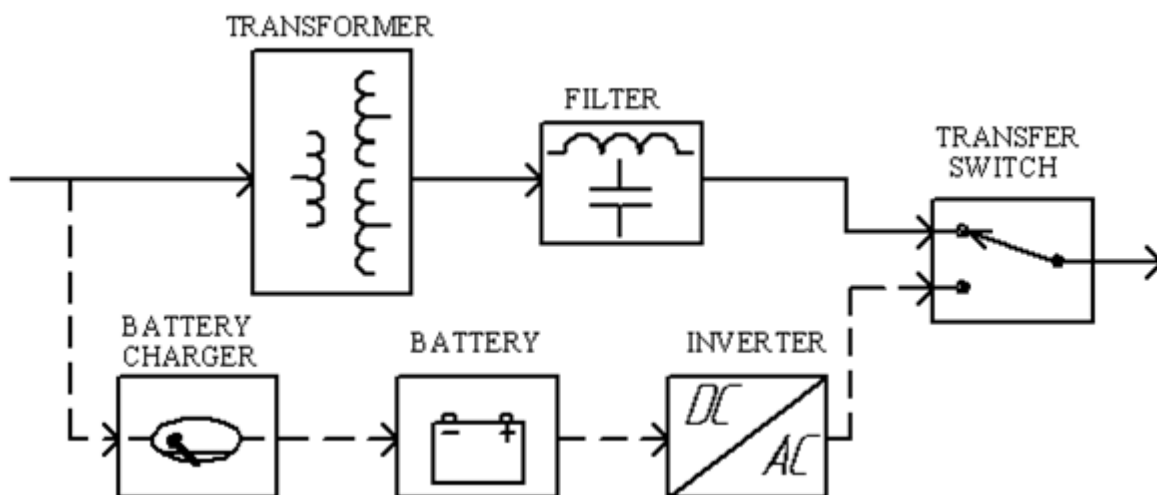


Рисунок 2 – Line-Interactive источник бесперебойного питания.

В источниках бесперебойного питания линейно-интерактивного типа (Line-Interactive, иногда Ferroresonant) сочетаются преимущества типа On-line с надежностью и эффективностью резервных (standby). В источниках бесперебойного питания этого типа в отличие от технологии Off-line в прямую цепь включен ступенчатый автоматический регулятор напряжения (booster), построенный на основе автотрансформатора Transformer (трансформатор с переключающимися обмотками). В некоторых моделях применяется сетевой стабилизатор напряжения.

DC/AC inverter связан с нагрузкой. При работе он питает нагрузку параллельно стабилизированному (conditioned) переменному напряжению сети. Нагрузка подключается полностью лишь в том случае, когда входное напряжение электросети пропадает.»[11]

«Из-за такого взаимодействия ("interaction") со входным сетевым напряжением данная архитектура и получила свое название. В определенном диапазоне изменения сетевого напряжения, выходное напряжение поддерживается в заданных границах за счет переключения обмоток трансформатора либо стабилизатором. Инвертор как правило работает при низком напряжении, регулирует выходное напряжение и подзарядку аккумуляторов до тех пор, пока не потребуются его включение для полного питания нагрузки при перебоях в электросети. Линейно-интерактивные источники бесперебойного питания нашли наиболее широкое применение в системах защиты компьютерных сетей.

Трансформатор, сделанный по специальной так называемой ferro-технологии, сглаживает скачки напряжения, при этом источник бесперебойного питания реже переключается на работу от аккумуляторной батареи, и следовательно повышается срок службы батареи. Обычно, эти источники бесперебойного питания оборудованы совершенными фильтрами, обеспечивающими защиту от помех различного происхождения. Типовое время переключения в режим питания от аккумуляторов или обратно составляет 2 мс.

Конструктивно трансформатор не имеет несколько дополнительных отводов во вторичной обмотке (это может быть автотрансформатор с единственной обмоткой), переключением отводов трансформатора при изменениях входного напряжения управляет контроллер (микропроцессор), поддерживая напряжение на выходе в требуемом диапазоне. Итак, Line-Interactive источник бесперебойного питания работает по принципу управляемого ЛАТРа и действительно реже переключается на батарейное питание при скачках входного напряжения. В этой схеме зарядное устройство конструктивно совмещено с преобразователем. Одним из преимуществ ИБП такого типа является широкий диапазон допустимых входных напряжений.»[11]

Топология Double-Conversion On-Line ("True On-Line") (рис. 3)

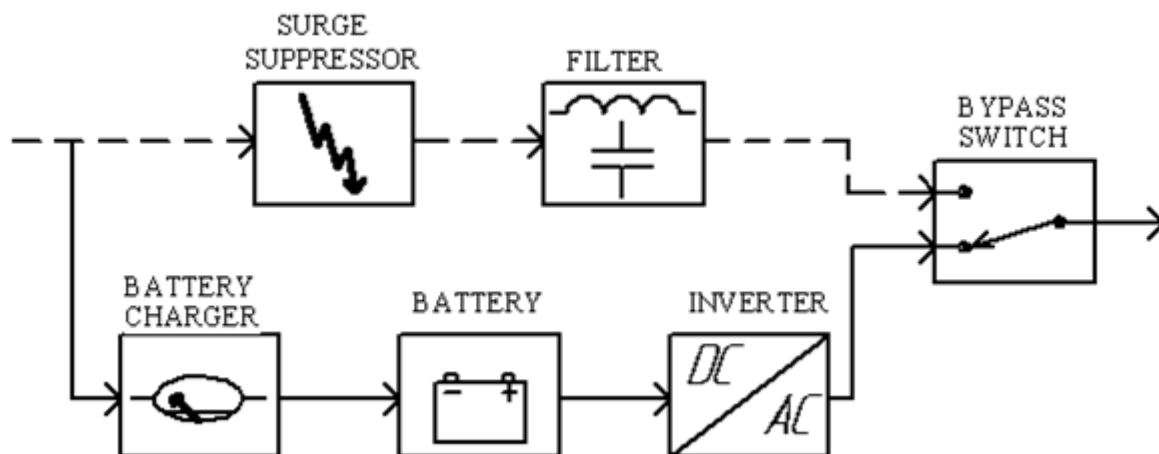


Рисунок 3 –True On-Line источник бесперебойного питания.

«Источник бесперебойного питания, в котором входное переменное напряжение сначала преобразуется battery charger'ом в постоянную, а затем посредством инвертора опять в переменную – является источником с двойным преобразованием напряжения (энергии) (On-Line). На первый взгляд эта топология UPS похожа на Standby, но инвертор в ней работает непрерывно и переключений режима его работы при аварии питающего напряжения сети не происходит. При наличии питающего напряжения в сети мощность, потребляемая инвертором от батареи, полностью компенсируется мощным battery charger'ом. Bypass switch обеспечивает подачу напряжения сети напрямую с входа на выход (в случае аварии инвертора или необходимости замены батарей "на ходу"). Данная топология применяется в тех случаях, когда защищаемое оборудование очень критично к качеству питающего напряжения. Она обеспечивает наивысшую степень защиты оборудования. Типичные мощности UPS, строящихся по данной топологии - от 3-5 до 5000 kVA. В то же время существуют и относительно маломощные системы бесперебойного питания (0.7-3 kVA) на этом же принципе - например Prestige и Prestige-II фирмы Exide, Constant Power 3 фирмы Online Power, Liebert UPStation и др. » [11]

Топология Delta Conversion On-Line.

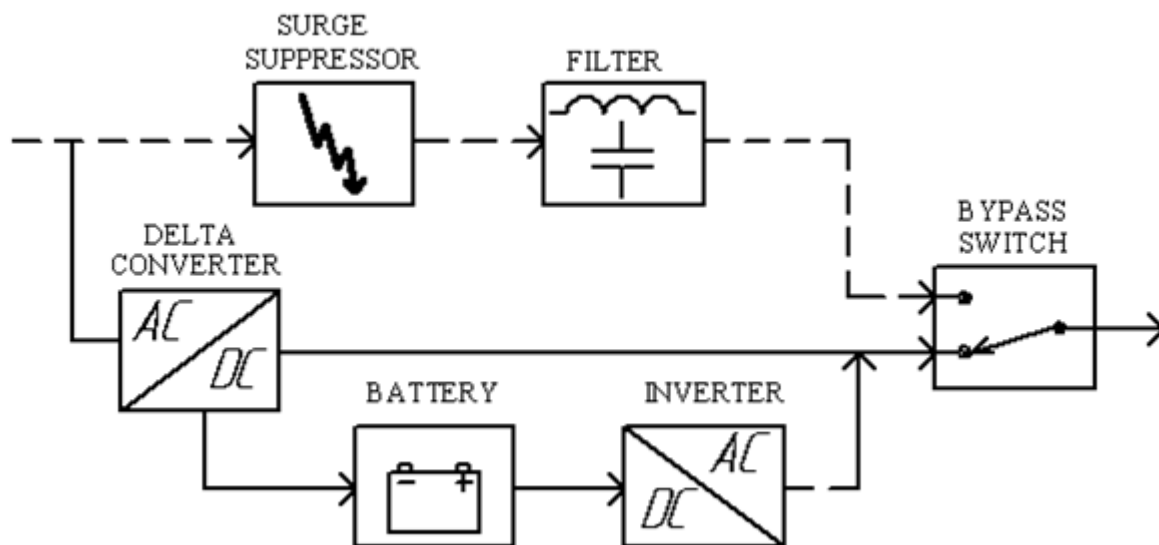


Рисунок 4 – Delta On-Line источник бесперебойного питания.

«Это новая технология построения Line-Interactive UPS, разработанная и запатентованная компанией Silcon Group (в настоящее время ставшей подразделением American Power Conversion), с использованием двух независимо работающих инверторов. Первый инвертор (delta converter) обычно рассчитан примерно на 20% от выходной мощности UPS и через трансформатор соединен последовательно с цепью питания нагрузки от электросети. Будучи синхронизированным с электросетью по частоте и фазе, он добавляет или вычитает вырабатываемое им напряжение (delta voltage) к сетевому, тем самым компенсируя отклонения выходного напряжения от номинала. Кроме того, на delta converter возложены также функции PFC (Power Factor Correction) и управления зарядом батарей. Второй инвертор рассчитан на 100% выходной мощности UPS и предназначен для питания нагрузки при работе от батарей. Bypass switch, как и в предыдущей топологии, обеспечивает непосредственное питание нагрузки от электросети в случае неисправности UPS или его временного отключения при плановом обслуживании.» [11]

«По мнению American Power Conversion, оптимальный диапазон мощностей для устройств такого типа - от 5 до 5000 kVA. Следует отметить, что хотя данная топология позиционируется, как конкурент "True On-Line", она обладает рядом недостатков:

- Delta-conversion, как и другие Line-interactive UPS, по принципу работы - система компенсационного типа. Это означает, что она может недостаточно эффективно демпфировать возникающие во входной питающей сети импульсные перенапряжения. Кроме того, она принципиально не способна стабилизировать частоту выходного питающего напряжения при отклонениях частоты входного - что может быть весьма существенным в дизель-генераторных системах резервного электропитания.

- Низкий коэффициент гармонических искажений выходного напряжения у delta-conversion системы достигается с большим трудом, чем у UPS "True On-Line". Причина - delta-converter добавляет к уже имеющимся искажениям входного питающего напряжения еще и свои собственные.

- В мощных трехфазных UPS при неравномерности нагрузки выхода по разным фазам "True On-Line" способен обеспечить хорошую балансировку нагрузки фаз входного фидера электропитания, т.к. его выходы отделены от входа звеном постоянного тока в виде трехфазного выпрямителя с подключенной аккумуляторной батареей. В delta-conversion системах разделительное звено отсутствует, что может привести к неравномерной нагрузке фаз и токовой перегрузке нейтрального провода питающей электросети. » [11]

1.2 Анализ и выбор структуры и блоков силовой части

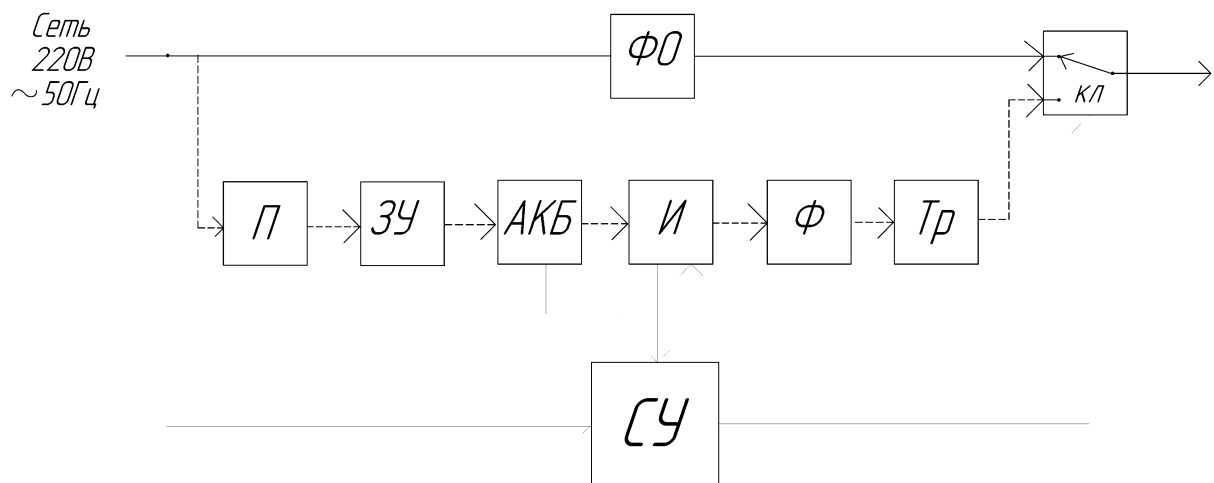
Проанализировав все достоинства и недостатки, условия работы, основные технические характеристики рассмотренных источников бесперебойного питания, выбрали ИБП Off-line типа, отличающийся простой схемотехникой и достаточно низкой ценой.

«Важным достоинством является достаточно высокий КПД (90-95%), следствием которого является низкое тепловыделение внутри корпуса. Из-за низкого тепловыделения эти ИБП не требуют принудительного охлаждения и практически бесшумны. Уровень защиты нагрузки и стабильность выходных параметров ИБП - разумный компромисс между безопасностью, КПД и ценой устройства. В режиме работы ИБП от аккумуляторных батарей на нагрузку может подаваться выходное напряжение близкое к прямоугольной форме (меандр), из-за сглаживающих свойств фильтров, аппроксимированная синусоида и чистая синусоида. В разрабатываемом источнике путем применения широтно – импульсной модуляции возможно получение синусоиды в качестве питающего напряжения не только для on-line, но и для off-line источников.» [11]

Рассмотрим основные блоки, входящие в состав схемы устройства показанной на рисунке 5.

1.2.1 Фильтр – ограничитель

«Для уменьшения амплитуды высоковольтных импульсов в ИБП off-line типа используются фильтры, основной (а чаще всего единственной) частью которых является металл-оксидный варистор. Варистор включают параллельно входу ИБП. Если напряжение на входе ИБП находится в пределах допустимого, варистор имеет большое внутреннее сопротивление и не влияет на работу ИБП и его нагрузки. » [6, 7, 12]



ФО – фильтр – ограничитель
П – АС/DC преобразователь
ЗУ – зарядное устройство
АКБ – аккумуляторная батарея

И – инвертор
Ф – фильтр
Тр– трансформатор
КЛ – ключ
СУ – система управления

Рисунок 5 – Структурная схема источника бесперебойного питания.

«Практически он работает как конденсатор небольшой емкости. Если на вход ИБП поступает импульс и напряжение на входе ИБП превышает некоторое предельное (обычно 400-600 В), внутреннее сопротивление варистора резко уменьшается и он шунтирует (замыкает) вход ИБП. При этом большие (до нескольких килоампер) импульсные токи протекают через варистор, не поступая в ИБП и не повреждая подключенное к нему оборудование. Непосредственно на выходе варистора во время подавления импульса могут возникать переходные процессы с импульсными напряжениями порядка нескольких десятков вольт.

Эти импульсы затем ослабляются фильтром шумов, а в некоторых моделях ИБП специальной цепью. Для фильтрации шумов используются R-C или L-C фильтры, свободно пропускающие низкочастотные колебания с частотой близкой к 50 Гц и оказывающие заметное сопротивление распространению колебаний намного более высокой частоты.» [6, 7]

1.2.2 Преобразователь AC/DC

Устройство осуществляющее преобразование переменного напряжения высокого уровня в постоянное напряжение низкого уровня. Преобразователи имеют стабилизированный выход и снабжены защитой от короткого замыкания и перегрева.

1.2.3 Зарядное устройство

«Зарядное устройство выполняет функции автоматического заряда батареи и поддержанием ее заряда. Как правило зарядные устройства реализуют традиционный I-U алгоритм заряда. При полностью разряженной батарее выпрямитель заряжает ее постоянным током. Величина этого тока обычно выбирается численно равной от 1/4 до 1/15 номинальной емкости батареи. После достижения напряжения на батарее примерно 13.8 В на 12-ти вольтовый аккумулятор выпрямитель переходит на режим стабилизации напряжения. При этом напряжении батарея не разряжается и не заряжается. Поддержание батареи под "плавающим потенциалом" или "напряжением плавающего заряда" позволяет компенсировать саморазряд батареи и не допустить ее перезаряда.» [6, 7]

1.2.4 Аккумуляторная батарея

Аккумуляторная батарея предназначена для запасания энергии. Ее выбор будет рассмотрен в пункте 1.3.

1.2.5 Инвертор на транзисторах

Инвертор, выполненный на транзисторах, осуществляет формирование выходного стабилизированного напряжения 220В, 50 Гц. Управление и синхронизацию данного устройства с сетью осуществляет устройство управления ИБП. [14]

1.2.6 Фильтр

Для фильтрации используются L-С фильтры, свободно пропускающие низкочастотные колебания с частотой близкой к 50 Гц и оказывающие заметное сопротивление распространению колебаний намного более высокой частоты.

1.2.7 Переключатель

В качестве переключателя, выполняющего функцию переключения с режима работы от сети на режим работы от батареи, используются сдвоенные быстродействующие реле.

1.2.8 Преобразователь переменного напряжения низкого уровня в высокий.

В качестве преобразователя переменного напряжения низкого уровня в высокий используется силовой повышающий трансформатор.

1.2.9 Система анализа сети и управления с ШИМ

«Система анализа сети и управления с ШИМ измеряет среднее выпрямленное значение напряжения сети и выдает команды на переключение с режима на режим в зависимости от его величины. Когда напряжение сети падает (например, при 195В) или пропадает совсем, схема анализа сети подает команду на переключение ИБП на режим работы от батареи. Если напряжение становится выше (например, при 205В), ИБП снова начинает работать от сети.»[6, 7]

Так как большинство подключаемых устройств к разрабатываемому источнику бесперебойного питания имеют импульсные блоки питания, а они прекрасно отфильтровывают повышения напряжения, то система не будет реагировать на повышенные напряжения. Применение широтно – импульсной модуляции позволяет получить синусоиду в качестве питающего напряжения для источника.

«Схема управления ИБП следит за состоянием батареи ИБП. Когда батарея разряжается полностью (напряжение на АБ становится меньше 11 В)

блок управления снимает напряжение с нагрузки. Это необходимо для предотвращения глубокого разряда батареи. » [6, 7]

1.3 Анализ решений автономных источников энергии

Определим необходимую емкость аккумуляторной батареи.

Номинальное напряжение батареи примем равным заданному в исходных данных выходному постоянному напряжению 12 В.

Из исходных данных известно, что источник должен проработать на аккумуляторе в течении 30 минут с мощностью $100+400=500$ Вт. Количество выдаваемой энергии составит $500 \text{ Вт} \cdot 0.5 \text{ ч} = 250 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$.

При среднем значении напряжения на аккумуляторной батарее 12 В ее минимально необходимая емкость составит $250 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / 12 \text{ В} = 20.8 \text{ А} \cdot \text{ч}$.

Далее выберем тип батареи.

«В современной технике используются пять основных типов аккумуляторов, отличающихся по своему химическому составу:

1.3.1 Никель-кадмиевые (NiCd)

Хорошо отработанная и изученная технология, но обладает низкой плотностью энергии. Используется там, где важны долговечность, способность обеспечить высокий ток нагрузки и малая стоимость. Основные области применения: портативные радиостанции, медицинское оборудование, профессиональные видеокамеры и электроинструмент.

1.3.2 Никель-металлогидридные (NiMH)

По сравнению с NiCd имеют более высокую плотность энергии, но меньшее время жизни. NiMH не содержат токсичных материалов. Применяются в мобильных телефонах и портативных компьютерах.

1.3.3 Литий-ионные (Li-ion)

Наиболее бурно развивающаяся технология. Используются там, где нужна высокая плотность энергии и малый вес. Li-ion дороже всех других аккумуляторов. При эксплуатации необходимо строго соблюдать режимы заряда и разряда, указанные производителем из соображений безопасности. Применяются в компьютерах и сотовых телефонах. » [1]

1.3.4 «Литий-полимерные (Li-polymer)

Задуманы как удешевленная версия Li-ion аккумуляторов. Этот тип химии по плотности энергии аналогичен Li-ion . Это позволяет делать Li-polymer аккумуляторы очень компактными. В основном, используются в мобильных телефонах.

1.3.5 «Свинцово-кальциевые аккумуляторы (LA)

Применяются там, где требуется большая мощность, а вес не имеет значения. Наиболее распространенный тип аккумулятора в мире (из расчета ампер-часов). Основная область применения — стартерные батареи. Герметичные свинцово-кальциевые (SLA) — один из видов свинцово-кальциевых аккумуляторов. Применяются там, где требуется большая мощность, а вес не имеет значения. Типовые области применения — стационарное медицинское оборудование, электромобили, системы аварийного энергоснабжения, UPS (источники бесперебойного питания). » [1, 25, 30]

Ниже приведена таблица 1 параметров популярных аккумуляторов.

На основе приведенных параметров сделали вывод, что свинцово-кальциевые аккумуляторы наиболее лучше подходят для нашего проекта, так как они не боятся глубокой разрядки и перезарядки, не страдают так называемым «эффектом памяти», могут длительно храниться в заряженном состоянии (до года), при этом ток саморазрядки незначителен.

Таблица 1 – Параметры аккумуляторных батарей.

Наименование показателя	NiCd	NiMH	Lead Acid	Li-ion	Li-ion polymer
Плотность энергии (Вт*час/кг)	45-80	60-120	30-50	110-160	100-130
Внутреннее сопротивление мОм	100-200 6V	200-300 6V	<100 12V	150-250 7.2V	200-300 7.2V
Время жизни (до 80% от номинальной емкости)	1500	300 – 500	200 – 300	500 – 1000	300 – 500
Время быстрого заряда	1час	2-4час	8-16час	2-4час	2-4час
Чувствительность к перезаряду	средняя	высокая	низкая	очень высокая	высокая
Саморазряд / Месяц (комнатная температура)	20%	30%	5%	10%	~10%
Напряжение ячейки (номинальное)	1.25В	1.25В	2В	3.6В	3.6В
Нагрузочный ток — пиковый — оптимальный	20С 1С	5С 0.5С или ниже	5С7 0.2С	>2С 1С или ниже	>2С 1С или ниже
Рабочая температура (только в части разряда)	-40 – 60°C	-20 – 60°C	-20 – 60°C	-20 – 60°C	0 – 60°C
Требования к периодичности обслуживания	30 – 60 дней	60 – 90 дней	3 – 6 месяцев	не требуется	не требуется

Исходя из необходимой минимальной емкости батареи 12 В, 20.8 А·ч, с учетом необходимого запаса на старение батареи выбрали свинцово – кислотную не обслуживаемую аккумуляторную батарею типа DELTA DTM 1226 – 12 В, 26 А·ч.

1.4 Анализ схемных решений зарядного устройства

В предыдущем пункте мы определились с выбором свинцово-кислотной батареи, следовательно зарядное устройство необходимо подбирать именно для этого типа. Рассмотрим несколько схемных решений зарядных устройств, обеспечивающих автоматический заряд 12-вольтной батареи и поддержание заряда небольшим током (в таком режиме батарея может находиться

неограниченное время без вреда для себя и всегда готова к применению), не требующее контроля и вмешательства, простое, несложное в наладивании.

Схема автоматического зарядного устройства из [2], обеспечивающая буферный режим аккумулятора. Основной целью при разработке данной схемы ставилось максимальная дешевизна конструкции, минимум элементов, простота настройки.

Схема устройства заряда показана на рисунке 6.

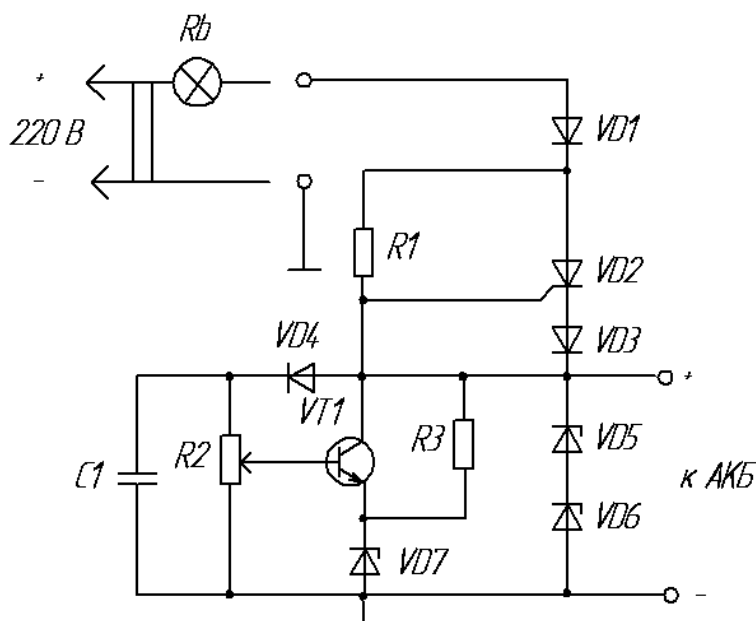


Рисунок 6 – Принципиальная схема зарядного устройства.

Кратко опишем работу схемы. При включении переменного напряжения 220В и разряженном аккумуляторе, ток заряда определяется балластным сопротивлением R_b и углом открытия тиристора VD_2 . По мере заряда аккумулятора, напряжение на нем увеличивается, что приводит через цепь VD_1 - R_2 к открытию транзистора VT_1 , что в свою очередь уменьшает угол открытия тиристора и соответственно зарядный ток аккумулятора. Таким образом, схема автоматически защищает от перезаряда аккумулятора. Также, одновременно с зарядом аккумулятора, от него можно получать любой ток, разумеется не превышающий максимальный разрядный.

В качестве балластного сопротивления следует использовать лампу накаливания или другую резистивную нагрузку на напряжение 220В, например паяльник. Это свидетельствует о несовершенстве схемотехнического решения и больших габаритах схемы, малым КПД. К минусу также следует отнести то, что схема не имеет гальванической развязки от сети. Обрыв аккумулятора при включенном в сеть устройстве может привести к короткому замыканию и даже пожару, поэтому эта схема хоть и проста, но не надежна, а это просто недопустимо для нагрузки.

Очень широко в данный момент используются микросхемы для заряда аккумуляторных батарей. Самыми популярными являются фирмы MAXIM и Linear Technology. В качестве примера возьмем из [18] микросхему зарядного устройства LTC 4008 фирмы Linear Technology [28].

Схема включения показана на рис.7.

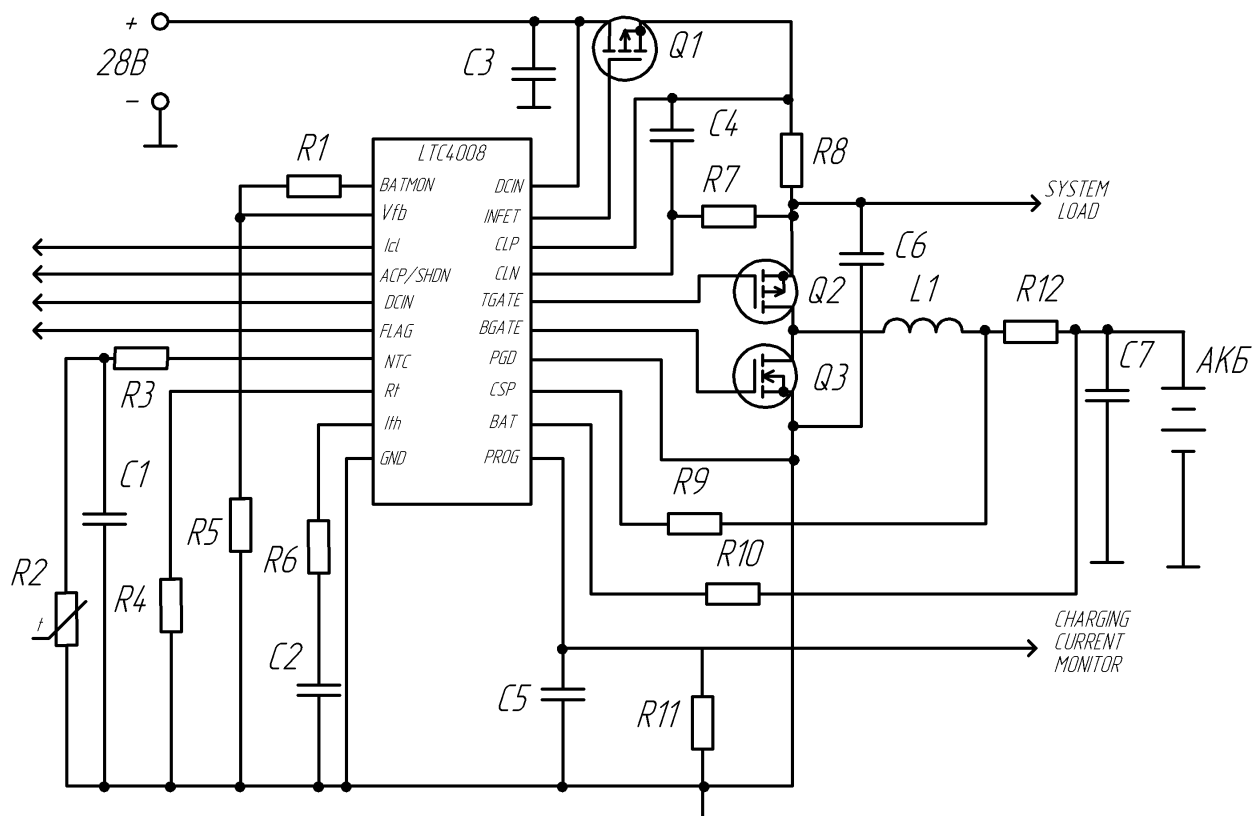


Рисунок 7 – Схема включения микросхемы LTC4008.

Проанализировав все особенности рассмотренных схемных решений зарядных устройств, остановились на выборе микросхем зарядных устройств, так как они осуществляют необходимый автоматический заряд АКБ, обладают высоким КПД, не требуют никакого вмешательства, обладают высокой надежностью и простотой исполнения.

1.5 Анализ схемных решений инвертора

Рассмотрим основные типы автономных инверторов с указанием основных преимуществ и недостатков той или иной схемы.

Однофазный трансформаторный инвертор с нулевой точкой (рисунок 8)

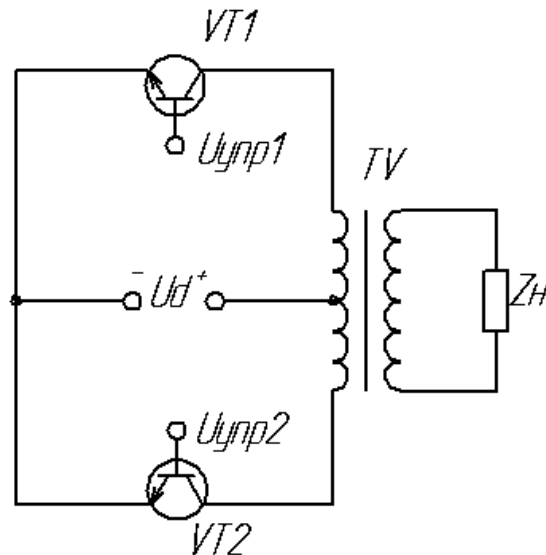


Рисунок 8 – Однофазный трансформаторный инвертор с нулевой точкой.

Преимущества

- Малое количество ключей.
- Ключи меньше загружены током, чем в полумостовой схеме.
- Оба ключа имеют общий потенциал, что схемотехнически упрощает формирование управляющих импульсов.

Недостатки

- Ток источника питания не является чистым постоянным током.

- Колебания тока источника питания, являются причиной дополнительного выделения тепла в первичной цепи инвертора.
- Наличие трансформатора, следовательно меньший КПД.

б) однофазный мостовой инвертор (рисунок 9)

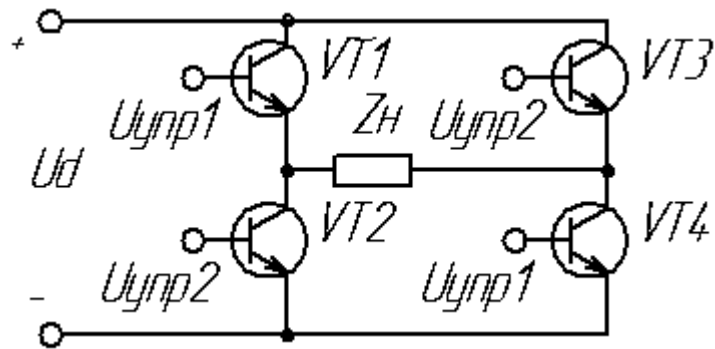


Рисунок 9 – Однофазный мостовой инвертор.

Преимущества

- Так как работают два ключа, то прикладывается меньшее напряжение и требуются ключи меньшей мощности.
- Надежность и простота схемы
- Достаточно высокий КПД

Недостатки

- Большое количество ключей

в) однофазный полумостовой инвертор (рисунок 10)

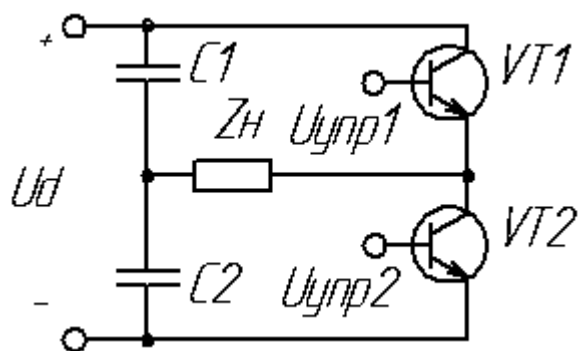


Рисунок 10 – Однофазный полумостовой инвертор.

Преимущества

- Надежность и простота схемы
- Малое количество ключей
- Достаточно высокий КПД

Недостатки

- Ключи нагружены удвоенным током нагрузки

Проанализировав все достоинства и недостатки рассматриваемых схемных решений автономных инверторов остановились на выборе мостовой схемы инвертора, так как наличие двух ключей одновременно, хоть и немного усложняет схему, но зато уменьшается нагрузка на ключи, они требуются меньшей мощности, что повышает надежность схемы, отсутствие трансформатора повышает КПД устройства, а это и есть необходимые требования к инвертору разрабатываемого устройства.

1.6 Анализ схемных решений дополнительных элементов

1.6.1 Анализ схемных решений источника питания

Для питания зарядного устройства необходим блок питания обеспечивающий преобразование переменного сетевого напряжения высокого уровня в постоянное напряжение 6 - 28В. Рассмотрим несколько схемных решений источников питания выполняющих данную задачу:

Блок питания, построенный из однофазного трансформатора, на вторичной обмотке которого получаем переменное напряжение 3 - 28В. Это напряжение выпрямляется по мостовой схеме диодами VD1-VD4. Схема источника изображена на рис.11

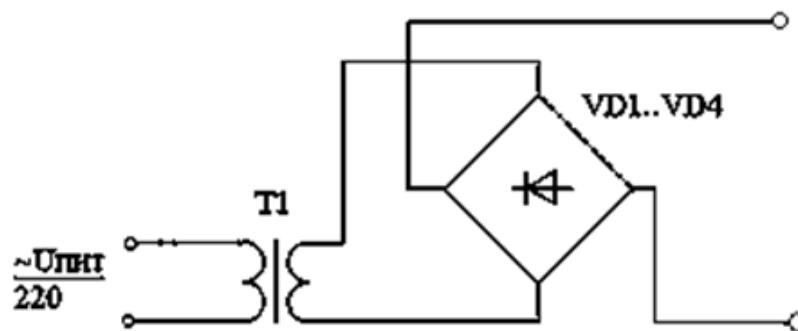


Рисунок 11 – Схема блока питания

Эта схема получила широкое применение, простая в исполнении, обладает невысоким КПД из-за наличия трансформатора и большие габариты.

АС/DC преобразователи всё шире применяются в качестве источника питания, обеспечивающего выходное постоянное напряжение. Рассмотрим основные характеристики данных источников.

Основные свойства:

- Позволяет уменьшить размер и массу источника питания.
- Широкий диапазон входного напряжения
- Для промышленного применения, осветительной аппаратуры, домашней электроники

Проанализировав все преимущества и недостатки предлагаемых источников питания сделали вывод, что AC/DC преобразователи больше подходят для питания автоматического зарядного устройства, так как обладают меньшим размером и массой источника питания, высоким КПД, имеют широкий диапазон входного напряжения.

1.6.2 Анализ схемных решений силовых трансформаторов

В роли блока повышения уровня напряжения применили трансформатор. К данному устройству прилагается ряд требований:

- низкие массогабаритные показатели;
- высокий КПД;
- коэффициент трансформации;
- высокие показатели надежности;
- перегрузочная способность;
- долговечность.

Трансформатор также играет важную роль в качестве элемента гальванической развязки.

Вывод по разделу

В первом разделе произведен обзор возможных структурных и схемотехнических решений, на основе которых производится выбор наилучших вариантов.

2 Разработка силовой части

2.1 Описание силовой схемы разрабатываемого устройства

Силовая схема разрабатываемого устройства показана на рисунке 12.

Опишем кратко работу силовой схемы разрабатываемого устройства с выбранными элементами из вышеперечисленных пунктов.

Если сетевое напряжение на входе ИБП находится в пределах допустимого ($220\text{В} \pm 10\%$), то сдвоенное быстродействующее реле в качестве переключателя обеспечивает протекание тока нагрузки по цепи «Фильтр-ограничитель – переключатель», где в качестве фильтра-ограничителя используется включенный параллельно входу варистор и L-С фильтр [19, 20].

Преобразователь AC/DC осуществляет преобразование переменного сетевого напряжения ($220\text{В} \pm 10\%$) в постоянное напряжение, необходимое для питания зарядного устройства, а также осуществляющий защиту от перенапряжения, перегрева, перегрузки, КЗ. Микросхема ЗУ в свою очередь обеспечивает автоматический заряд свинцово – кислотной аккумуляторной батареи напряжением 12В и ёмкостью 50А*ч, зарядным током около 5 А [26].

При перепаде в питающей электросети или исчезновении напряжения система управления посылает сигнал на переключение сдвоенного реле на цепь «АКБ – Инвертор – Повышающий трансформатор». В этом случае аккумуляторная батарея питает мостовой инвертор, управляемый системой управления с ШИМ, осуществляющий питание нагрузки низким уровнем напряжения (12В) синусоидальной формы. Силовой трансформатор преобразует низкое напряжение в напряжение высокого уровня ($220\text{В} \pm 10\%$) для питания подключаемого устройства, также осуществляет гальваническую развязку.

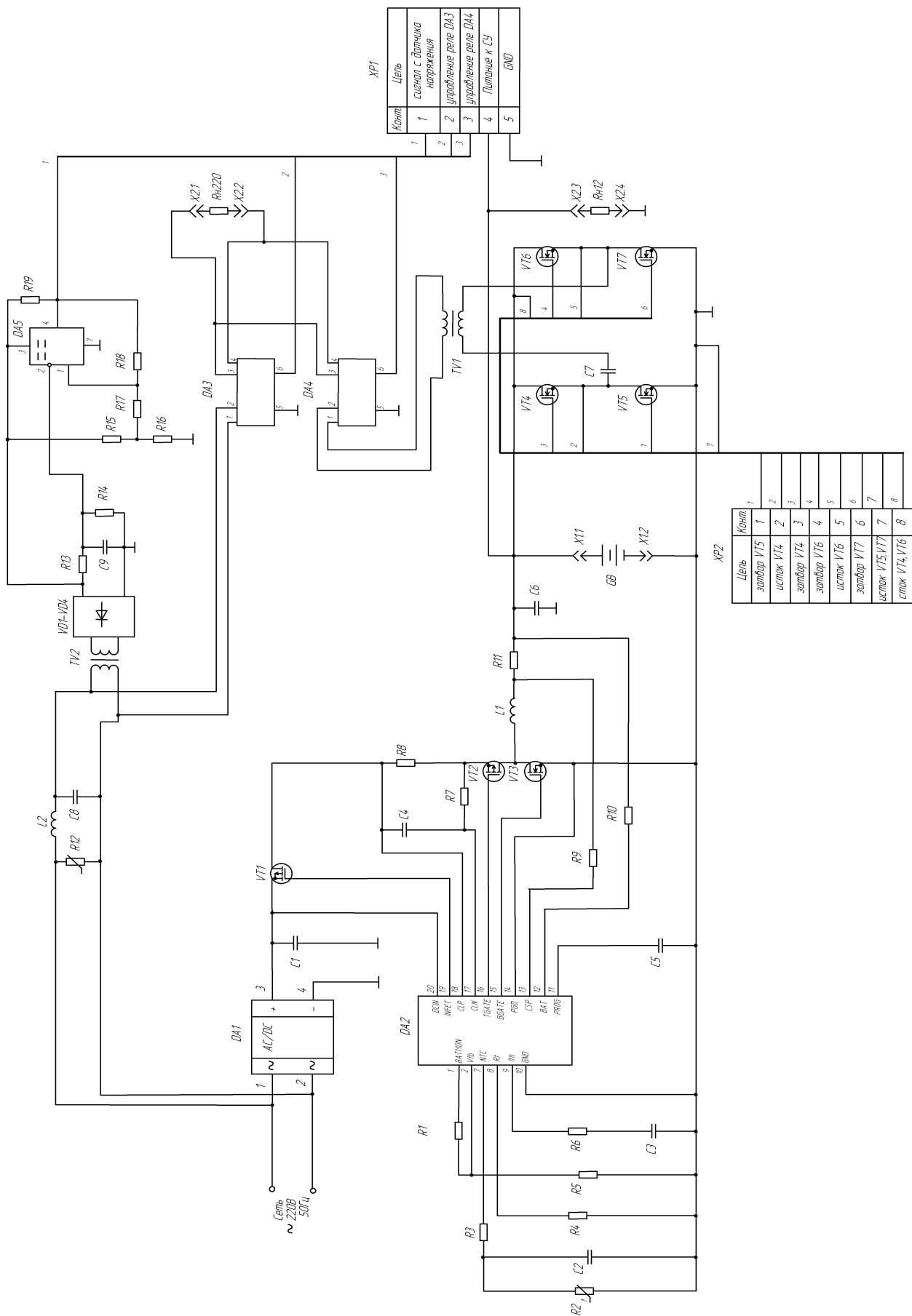


Рисунок 12 – Силовая схема разрабатываемого устройства

2.2 Расчет зарядного устройства и фильтра, выбор их элементов

2.1.1 Расчет зарядного устройства

В качестве зарядного устройства мы используем готовое решение, а именно, микросхему зарядного устройства. Вся задача сводится к выбору ЗУ, его элементов обеспечивающего оптимальный заряд аккумуляторной батареи. Данная микросхема должна обеспечивать:

- Ток заряда аккумуляторной батареи равный 0,1 от номинальной ёмкости (т.е 4-5А);
- Выходное напряжение 14В;
- Заряд свинцово – кислотной батареи.

Согласно этим требованиям выбрали микросхему зарядного устройства LTC 4008 фирмы Linear Technology.

Особенности LTC 4008:

- Используется для заряда любых типов аккумуляторных батарей
- Высокий КПД (до 96%)
- Программируемый ток заряда до 4А
- Диапазон входных напряжений 6-28В
- Выходное напряжение 3-28В
- Точность установки выходного напряжения $\pm 0.8\%$
- Ограничение потребляемого при заряде тока от сетевого адаптера

Для питания зарядного устройства необходим источник обеспечивающий преобразование переменного сетевого напряжения ($220\text{В} \pm 10\%$) в постоянное напряжение 3-28 В, необходимое для питания ЗУ, а также осуществляющий защиту от перенапряжения, перегрева, перегрузки, КЗ. По данным требованиям из [4] выбрали AC/DC преобразователь PS-65-12, параметры которого указаны в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры AC/DC преобразователя PS-65-12.

Входное напряжение, В	88...264
Выходное напряжение, В	12
Выходной ток, А	5
Ток утечки, мА	<0,5

2.1.2 Расчет фильтра и выбор его элементов

Из опыта разработок сетевых фильтров с учетом характера поведения сетевого напряжения, можно оценочно определить параметры фильтра. Так из [5] фильтр имеет структуру, показанную на рисунке 13 и элементную базу R, L, C:

R – варистор S20k275;

L – LQH4N222-101

C – XR-400B-10мкФ±10%

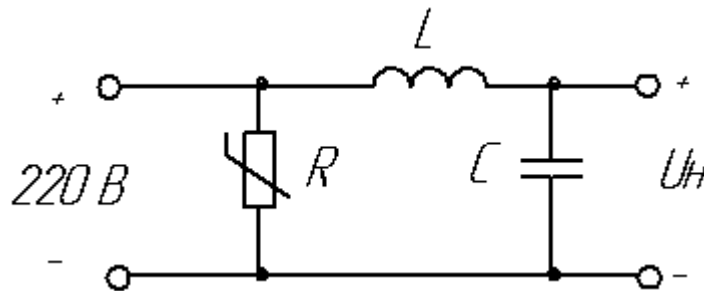


Рисунок 13 – Схема фильтра – ограничителя.

2.3 Расчет инвертора и снабберных цепей, выбор их элементов

Из ранее рассмотренных вопросов мы определились с выбором мостового инвертора. Инвертор строиться на полевых транзисторах [12].

Необходимо определить ёмкость конденсатора. Для этого произвели моделирование силовой схемы источника бесперебойного питания при работе от аккумуляторной батареи в системе MATLAB 6.0/SIMULINK и получили $C1 = 4,7$ мкФ. Схема исследуемого устройства показана на рисунке 14.

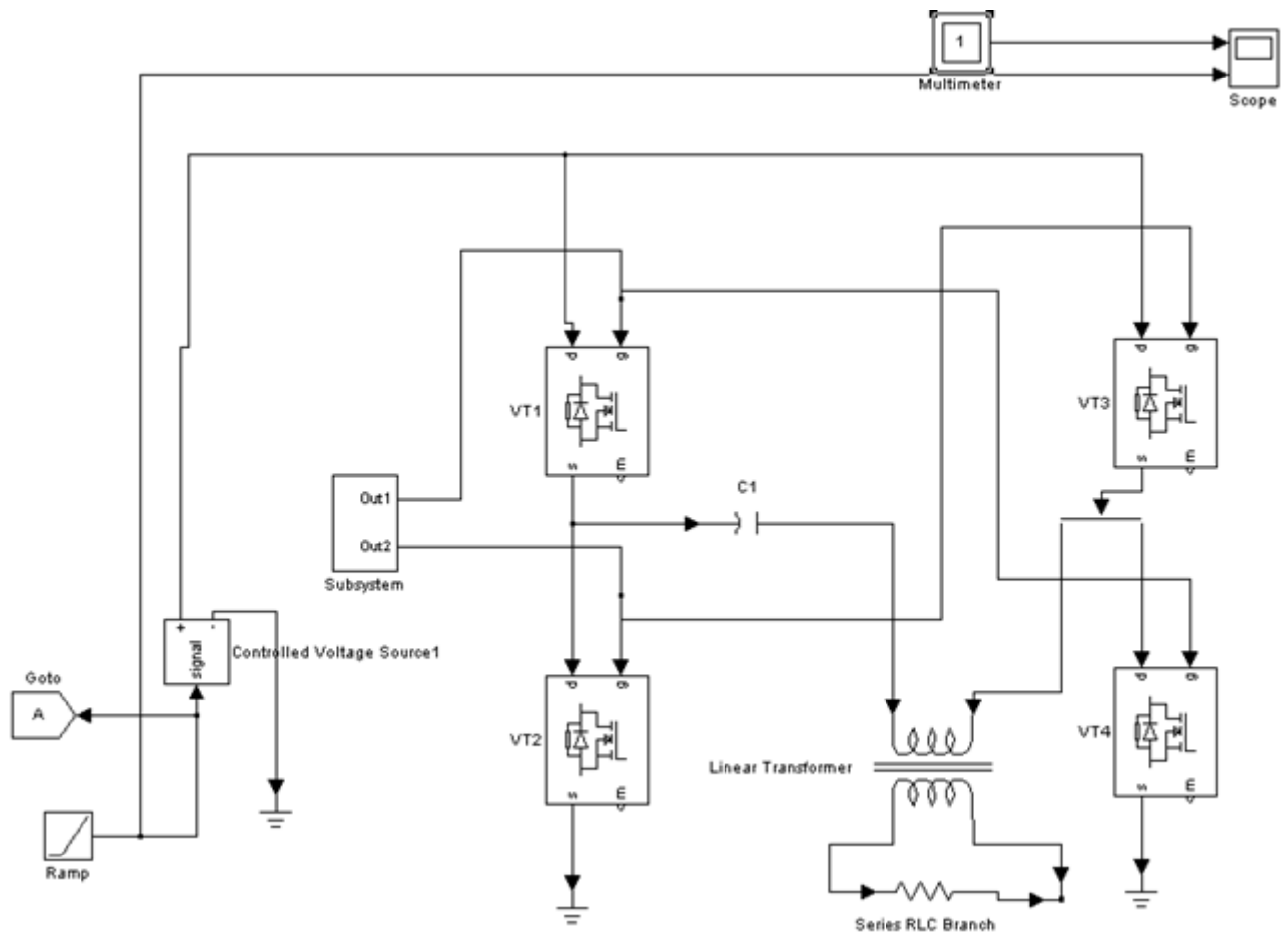


Рисунок 14 – Схема силовой части в системе MATLAB 6.0.

Выбрали C1 – K73-17-16В-4,7мкФ±10% из [10, 23].

Чтобы выбрать транзистор надо знать максимальный ток, который протекает через него и максимальное напряжение.[13]

Рассчитали максимальный ток I_{VTm} протекающий через транзистор по формуле:

$$I_{VTm} = \frac{2 \cdot P}{U_1} = \frac{2 \cdot 1000}{12} = 167 \text{ A}.$$

где P – мощность нагрузки, Вт;

U_1 – напряжение на первичной стороне, В.

Исходя из расчетов произведенных выше выбрали транзисторы VT1 – VT4. Это полевые транзисторы MOSFET марки IRF4004PBF из [7]. Параметры выбранного транзистора представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры выбранного транзистора

Параметры	Значения
Напряжение сток-исток $U_{си}$, В	40
Максимальный ток стока I_C , А	195
Сопротивление сток-исток $R_{си}$, Ом	0.0017
Суммарная мощность рассеяния P , Вт	380
Время включения транзистора t_{on} , нс	59
Время выключения транзистора t_{off} , нс	160
Тепловое сопротивление среды переход - корпус	0,4

Расчет охладителя

Действующее значение тока определяется по формуле:

$$I_d = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad (2.1)$$

В соответствии с выражением (2.1) действующее значение синусоидального тока определяется как:

$$I_d = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{167}{\sqrt{2}} = 118 \text{ А}$$

Определили действующее значение синусоидального тока протекающего через транзистор:

$$I_{сVT} = \frac{I_d}{\sqrt{2}} = \frac{118}{\sqrt{2}} = 83 \text{ А}$$

Определили статическую мощность потерь транзистора:

$$P_c = I_{сVT}^2 \cdot R = 83^2 \cdot 0.0017 = 11.7 \text{ Вт}$$

где R – сопротивление транзистора при данном токе

Определили динамическую мощность потерь транзистора по формуле:

$$P_{дин} = \frac{U \cdot I_m}{2} \cdot f \cdot (t_{on} + t_{off}) = \frac{12 \cdot 167}{2} \cdot 50000 \cdot (59 + 160) \cdot 10^{-9} = 10,9 \text{ Вт}$$

где t_{on} - время включения транзистора ;

t_{off} - время отключения транзистора;

Тогда суммарную мощность потерь транзистора рассчитали по формуле:

$$\sum P = P_c + P_{дин} = 11,7 + 10,9 = 22,6 \text{ Вт}$$

Рассчитали суммарное тепловое сопротивление по формуле:

$$\sum R = \frac{\Delta t^0}{P} = \frac{175^0 - 45^0}{22,6} = 5,7^0 \text{C/Вт}$$

где Δt^0 - разность температур транзистора и окружающей среды.

Тепловое сопротивление среды переход - корпус приняли $R_{пк} = 0,45^0 \text{C/Bm}$ (см таблица 4), а тепловое сопротивление изолирующей прокладки (корпус – охладитель) приняли $R_{ко} = 0,3^0 \text{C/Bm}$.

Тогда тепловое сопротивление охладитель - окружающая среда R_o будет равно:

$$R_o = \sum R - R_{пк} - R_{ко} = 5,7 - 0,45 - 0,3 = 5^0 \text{C/Bm}$$

Наша задача чтобы тепловое сопротивление охладителя было меньше рассчитанного, т.е.. $R_0 \leq 5^0 \text{C/Bm}$

По данным критериям из [8] выбрали охладитель О – 36. Параметры охладителя указаны в таблице 4.

Таблица 4 – Параметры охладителя О-36.

Тип охладителя	Тепловое сопротивление R_0 , $^0\text{C/Bт}$	Мощность отводимого тепла, Вт	Ток, А
О-36	1,15	55	200, 250

2.4 Расчет согласующего трансформатора и его элементов

2.4.1 Напряжения первичной и вторичной обмоток трансформатора

$$U_{1\phi} = 12B,$$

$$U_{2\phi} = 310B.$$

2.4.2 Токи первичной и вторичной обмоток:

$$I_{1\phi} = \frac{P}{U_1} = \frac{P \cdot \sqrt{2}}{U_{1\phi}} = \frac{1000 \cdot \sqrt{2}}{12} = 118A$$

$$I_{2\phi} = \frac{P}{U_2} = \frac{P \cdot \sqrt{2}}{U_{2\phi}} = \frac{1000 \cdot \sqrt{2}}{310} = 4.5A$$

2.4.2 Определили коэффициент трансформации

$$K_T = \frac{U_{2\phi}}{U_{1\phi}} = \frac{310}{12} = 25$$

В качестве материала магнитопровода выбрали холоднокатаную сталь марки 3405 толщиной 0.5 мм с магнитной индукцией 1,5 Тл. Параметры указаны в таблице 5.

Таблица 5 - Характеристики трансформаторной стали

Марка стали	Толщина листа, мм	Удельные потери, $P_{1,5/50}$, Вт/кг не более	Магнитная индукция, Тл, при напряженности 100 А/м
3405	0,35	1,45	1,61

2.4.3 Задались числом витков первичной обмотки

$$\omega_1 = 16.$$

Рассчитали активное сечение стержня магнитопровода:

$$F_C = \frac{U_{1\phi}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot B_c \cdot \omega_1} = \frac{12}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 1,5 \cdot 16} = 0.0016 \text{ м}^2$$

Рассчитали геометрические размеры стержня квадратной формы, показанный на рисунке 15:

$$c = d = \sqrt{S} = 0.04 \text{ м}$$

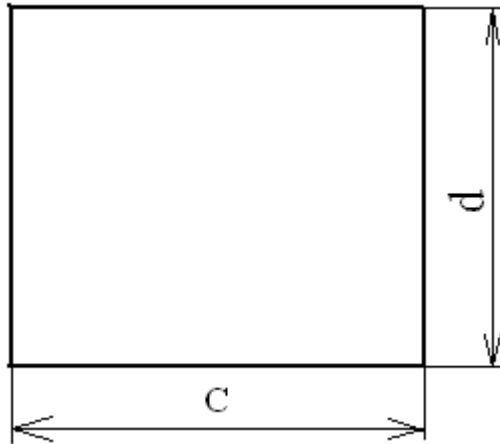


Рисунок 15 – Стержень магнитопровода.

2.4.4 Выбор марки провода и задание плотности тока в обмотке

На выбор плотности тока влияют: способ охлаждения трансформатора, материал провода обмотки, расположение обмоток. В качестве материала провода обмоток выбрали медь.

Так как источник бесперебойного питания при пропадании напряжения работает порядка 5 минут, то целесообразно для уменьшения габаритов трансформатора увеличить нагрузку на обмотку и выбрать плотность тока $j_1 = 9 \text{ А/мм}^2$.

2.4.5 Определили сечение провода первичной обмотки ω

$$S_1 = \frac{I_{1\phi}}{j_1 \cdot K_3} = \frac{118}{9 \cdot 0,8} = 17,1 \text{ мм}^2,$$

где j_1 - плотность тока в обмотке ω_1 .

Выбрали по таблице 6 стандартное сечение провода $S_1' = 17,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$.
Размеры провода : $a_1 = 2,8 \text{ мм}$, $b_1 = 6,3 \text{ мм}$ без изоляции; $a_1' = 3,3 \text{ мм}$, $b_1' = 6,8 \text{ мм}$ с изоляцией.

Таблица 6 – Номинальные размеры и сечение (мм²) прямоугольного медного обмоточного провода марок ПСД (АПСД) и ПСДК (АПСДК).

В, мм	Размер а, мм												
	1,4	1,6	1,8	2,0	2,24	2,5	2,8	3,15	3,55	4,00	4,5	5,0	5,6
4,0	5,39	6,19	6,84	7,64	8,6	9,45	10,7	-	-	-	-	-	-
4,5	6,09	6,99	7,74	8,64	9,72	10,7	12,1	13,6	-	-	-	-	-
5,0	6,79	7,79	8,64	9,64	10,8	12,0	13,5	15,2	17,2	-	-	-	-
5,6	7,63	8,75	9,72	10,8	12,2	13,5	15,1	17,1	19,3	21,5	-	-	-
6,3	8,61	9,87	10,4	12,2	13,8	15,2	17,1	19,3	21,8	24,3	27,5	-	-
7,1	9,73	11,2	12,4	13,8	15,5	17,2	19,3	21,8	24,7	27,5	31,1	34,6	-
8,0	11,0	12,6	14,0	15,6	17,6	19,5	21,9	24,7	27,9	31,1	35,1	39,2	43,9
9,0	12,4	14,2	15,8	17,6	19,8	22,0	24,7	27,8	31,4	35,1	39,6	44,1	-
10,0	13,8	15,8	16,6	19,6	22,0	24,5	27,5	31,0	35,0	39,1	44,1	49,1	-
11,2	-	-	-	-	24,7	27,5	30,8	34,7	39,2	43,9	49,5	55,1	-
12,5	-	-	-	-	27,6	-	-	-	-	-	-	-	-

Номинальная удвоенная толщина изоляции 2δ в расчете принимается: для проводов с размером $b \leq 5,6$ мм, $2\delta = 0,45$ мм; для провода с размером $b \geq 6,3$ мм, $2\delta = 0,5$ мм.

2.4.6 Определили осевой и радиальный размеры первичной обмотки

Осевой размер первичной обмотки:

$$h_{об1} = \omega_{сл} \cdot b_{из} = 8 \cdot 6,8 = 54,4 \text{ мм},$$

где $\omega_{сл}$ - число витков в одном слое обмотки;

$b_{из}$ - осевой размер;

Радиальный размер первичной обмотки:

$$a_{об1} = n_{сл} \cdot a_{из} = 2 \cdot 3,3 = 6,6 \text{ мм},$$

где $n_{сл}$ - число слоев обмотки;

$a_{из}$ - радиальный размер изолированного проводника;

2.4.7 Нашли число витков вторичной обмотки.

$$\omega_2 = \omega_1 \cdot K_T = 16 \cdot 25 = 400,$$

2.3.9 Выбрали медный провод плотностью $j_2 = 9 \text{ А/мм}^2$.

2.3.10 Определили сечение провода вторичной обмотки:

$$S_2 = \frac{I_{2\phi}}{j_2 \cdot K_3} = \frac{4,5}{9 \cdot 0,8} = 0,67 \text{ мм}^2,$$

Из [9] выбрали многожильный провод литцендрат (т.к. на высоких частотах следует использовать параллельное соединение нескольких проводников) стандартным диаметром $d_0 = 1 \text{ мм}$ и сечением $S = 0,8 \text{ мм}^2$.

2.4.8 Определили осевой и радиальный размеры вторичной обмотки

Осевой размер вторичной обмотки:

$$h_{об2} = \omega_{сл} \cdot b_{из} = 80 \cdot 1 = 80 \text{ мм},$$

Радиальный размер вторичной обмотки:

$$a_{об2} = n_{сл} \cdot a_{из} = 5 \cdot 1 = 5 \text{ мм},$$

2.4.12 Определили длину ярма сверху обмоток:

$$l_{я1} = c + 2 \cdot (a_{c1} + a_{c2} + a_{об1} + a_{об2} + a_{12}) = \\ 0,04 + 2 \cdot (0,001 + 0,004 + 0,0066 + 0,005 + 0,003) = 0,08 \text{ м},'$$

где a_{c1} и a_{c2} – расстояния от стержня до обмоток соответственно ω_1 и ω_2

a_{12} мм – расстояние между обмотками

Таблица 7 - Изоляция обмоток сухих трансформаторов

Напряжение обмотки U, В	до 100	до 500
Расстояние от обмотки до стержня a_c , мм	1	5
Расстояние между обмотками a_{12} , мм	1	5
Расстояние от обмотки до ярма $h_{я}$, мм	2	7

2.4.9 Высота стержня

$$h_{c1} = h_{об1} + h'_{я1} + h''_{я1} = 0,0544 + 0,002 + 0,002 = 0,058 \text{ м};$$

$$h_{c2} = h_{об2} + h'_{я2} + h''_{я2} = 0,08 + 0,006 + 0,006 = 0,092 \text{ м},$$

где $h'_{я1}$ и $h'_{я2}$ – расстояния от обмоток до верхнего и нижнего края яра.

Высота стержня принята равной:

$$h_c = h_{c_{\max}} = h_{c2} = 0,092 \text{ м}.$$

По выбранной высоте стержня h_c корректируется расстояние от обмоток до верхнего и нижнего яра первичной обмотки. Свободное пространство над первичной обмоткой высотой $h_{св} = h_{об2} - h_{об1} = 0,08 - 0,054 = 0,026 \text{ м}$ заполним изоляционным материалом.

Так как у трансформатора магнитопровод броневой, то длина яра сбоку обмоток равна :

$$l_{я2} = h_c = 0,092 \text{ м}.$$

Эскиз трансформатора показан на рисунке 16.

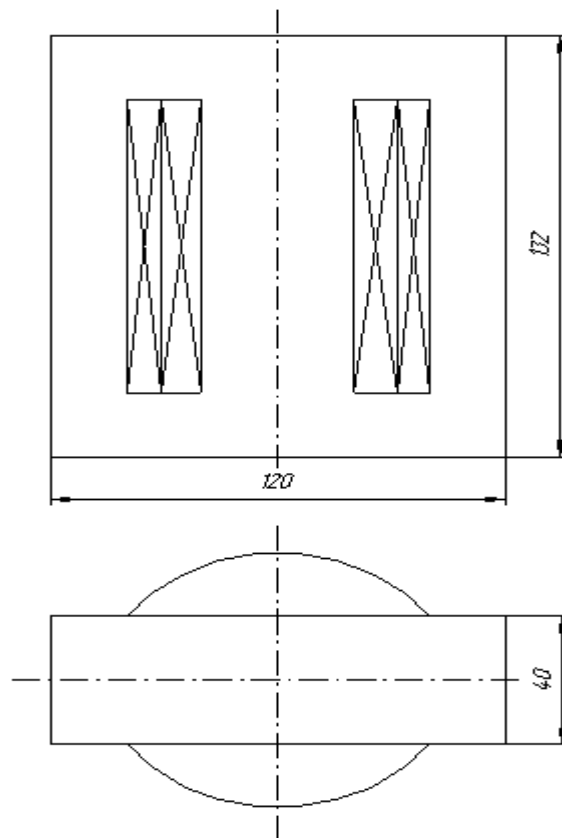


Рисунок 16 – Эскиз трансформатора М 1:2.

2.4.10 Масса трансформатора

Масса стержней:

$$G_c = n F_c h_c \gamma_{cm} = 0,0016 \cdot 0,092 \cdot 7800 = 1,1 \text{ кг},$$

где $n=1$ – количество стержней;

$$\gamma_{cm} = 7800 \text{ кг/м}^3 \text{ – удельный вес}$$

Масса ярм:

$$G_{я} = 2 F_{я1} l_{я1} \gamma_{cm} + 2 F_{я2} l_{я2} \gamma_{cm} = 2 \cdot 0,0008 \cdot 0,08 \cdot 7800 + 2 \cdot 0,0008 \cdot 0,092 \cdot 7800 = 2,13$$

Масса углов магнитопровода:

$$G_y = 2 F_c h_y \gamma_{cm} = 2 \cdot 0,0016 \cdot 0,02 \cdot 7800 = 0,5 \text{ кг},$$

Масса магнитопровода:

$$G_M = G_c + G_{я} + G_y = 1,1 + 2,13 + 0,5 = 3,7 \text{ кг}.$$

Масса обмотки ω_1 .

Внутренний диаметр первичной обмотки:

$$D_1' = c + 2a_{c1} = 0,04 + 2 \cdot 0,001 = 0,042 \text{ м}.$$

Внешний диаметр первичной обмотки:

$$D_1'' = D_1' + 2a_{об1} = 0,042 + 2 \cdot 6,4 \cdot 10^{-3} = 0,055 \text{ м}.$$

Масса металла первичной обмотки:

$$G_{об1} = \pi \frac{D_1' + D_1''}{2} \omega_1 S_1 \gamma_{np} = 3,14 \cdot \frac{0,042 + 0,055}{2} \cdot 16 \cdot 17,1 \cdot 10^{-6} \cdot 8700 = 0,36 \text{ кг},$$

где $\gamma_{np} = 8700 \text{ кг/м}^3$ – удельный вес меди.

Масса обмотки ω_2 . Расчет проводится аналогично:

$$G_{об2} = 0,6 \text{ кг}.$$

Масса трансформатора:

$$G = G_M + G_{об1} + G_{об2} = 3,7 + 0,36 + 0,6 = 4,7 \text{ кг}.$$

2.4.11 Основные потери в обмотках

Основные потери в обмотке ω_1 :

$$P_1 = K_t j_1^2 G_1 \cdot 10^{-12} = 2,6 \cdot (7 \cdot 10^6)^2 \cdot 0,36 \cdot 10^{-12} = 47 \text{ Вт},$$

где $j_1 = \frac{I_1}{S_1} = \frac{118}{17,1 \cdot 10^{-6}} = 7 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$ - плотность тока в обмотке ω_1 ;

$K_t = 1,97 \cdot (1 + 0,004(t - 20)) = 1,97 \cdot (1 + 0,004(105 - 20)) = 2,6$ - коэффициент для медного провода;

$t = 105 \text{ }^\circ\text{C}$ - допустимая температура нагрева изоляции обмотки.

Основные потери в обмотке ω_2 :

$$P_2 = K_t j_2^2 G_2 \cdot 10^{-12} = 2,6 \cdot (5,6 \cdot 10^6)^2 \cdot 0,6 \cdot 10^{-12} = 48 \text{ Вт},$$

где $j_2 = \frac{I_1}{S_2} = \frac{4,5}{0,8 \cdot 10^{-6}} = 5,6 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$ - плотность тока в обмотке ω_2 .

2.4.16 Добавочные потери в обмотках от вихревых токов основной частоты.

Добавочные потери в обмотке ω_1 :

$$P_1' = K_\phi f^2 a_{np1}^2 G_1 B_{\phi 1}^2 = 7,68 \cdot 10^3 \cdot 50^2 \cdot 0,0028^2 \cdot 0,36 \cdot 0,03^2 = 0,02 \text{ Вт},$$

где: $K_\phi = 7,68 \cdot 10^3$ - коэффициент добавочных потерь по таблице 8;

$a_{np1} = a_1 = 0,0028 \text{ м}$ - перпендикулярный полю рассеяния линейный размер проводника;

$$B_{\phi 1} = \frac{2}{\sqrt{15}} \cdot B_{m1} = \frac{2}{\sqrt{15}} \cdot 0,06 = 0,03 \text{ Тл} - \text{эквивалентная магнитная индукция}$$

поля рассеяния;

$$B_{m1} = \frac{1,78}{h_{o\phi 1}} \omega_1 I_1 10^{-6} = \frac{1,78}{0,054} \cdot 16 \cdot 118 \cdot 10^{-6} = 0,06 \text{ Тл} - \text{амплитуда осевой}$$

составляющей магнитной индукции рассеяния.

Таблица 8 - Коэффициент добавочных потерь

Материал провода	Медь		Алюминий	
Макс температура	75°C	115°C	75°C	115°C
K_g	$8,68 \cdot 10^3$	$7,68 \cdot 10^3$	$16,9 \cdot 10^3$	$14,95 \cdot 10^3$

2.4.12 Добавочные потери в обмотке ω_2 по формуле

$$P_2' = 7,68 \cdot 10^3 \cdot 50^2 \cdot 0,001^2 \cdot 0,6 \cdot 0,016^2 = 0,003 \text{ Вт.}$$

2.4.18 Основные потери в магнитопроводе трансформатора:

$$P_M = K_x P_{1,7/50} G_M = 1,45 \cdot 1,45 \cdot 3,7 = 7,7 \text{ Вт,}$$

где $K_x = 1,45$ – коэффициент, учитывающий суммарные добавочные потери в магнитопроводе трансформатора.

2.4.13 Трансформатор

Трансформатор будет выполнять также роль фильтра, отфильтровывающего высокочастотную гармонику на 50кГц, вследствие этого увеличатся потери в магнитопроводе трансформатора. Для анализа данного вопроса необходимо провести спектральный анализ работы устройства.

2.5. Математическое моделирование

Моделирование процесса провели в системе Microcap 9. Схема устройства показана на рисунке 17.

Полученные временные диаграммы представлены на рисунке 18, диаграмма спектрального анализа - на рисунке 19.

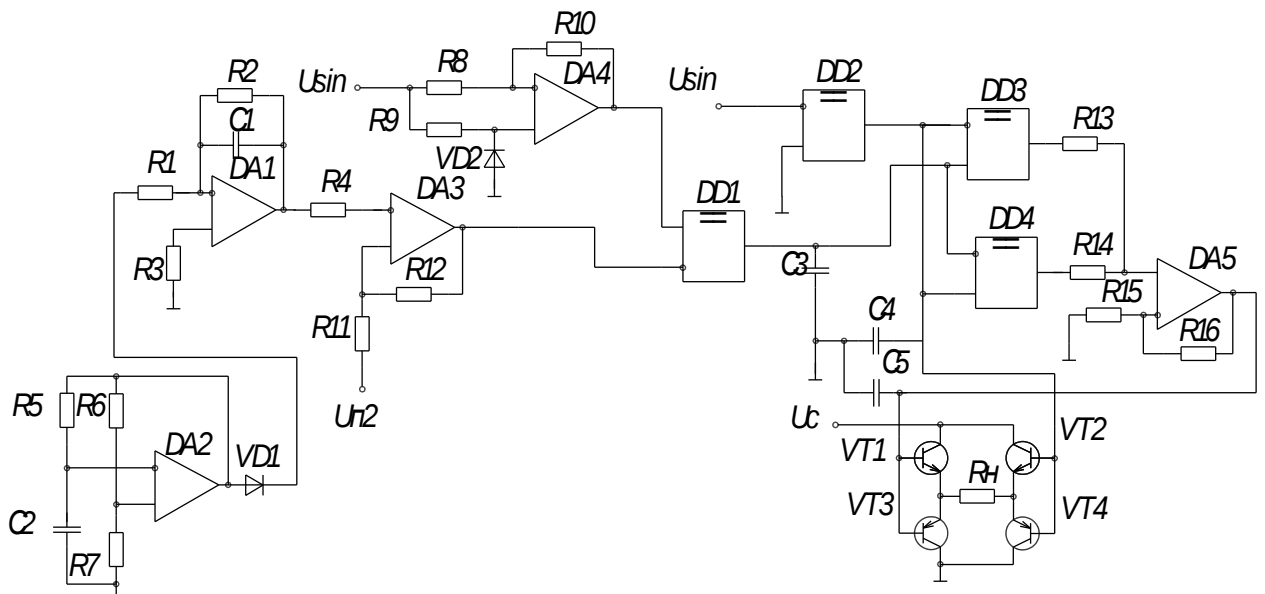


Рисунок 17 – Схема ШИМ с модулем синусоиды.

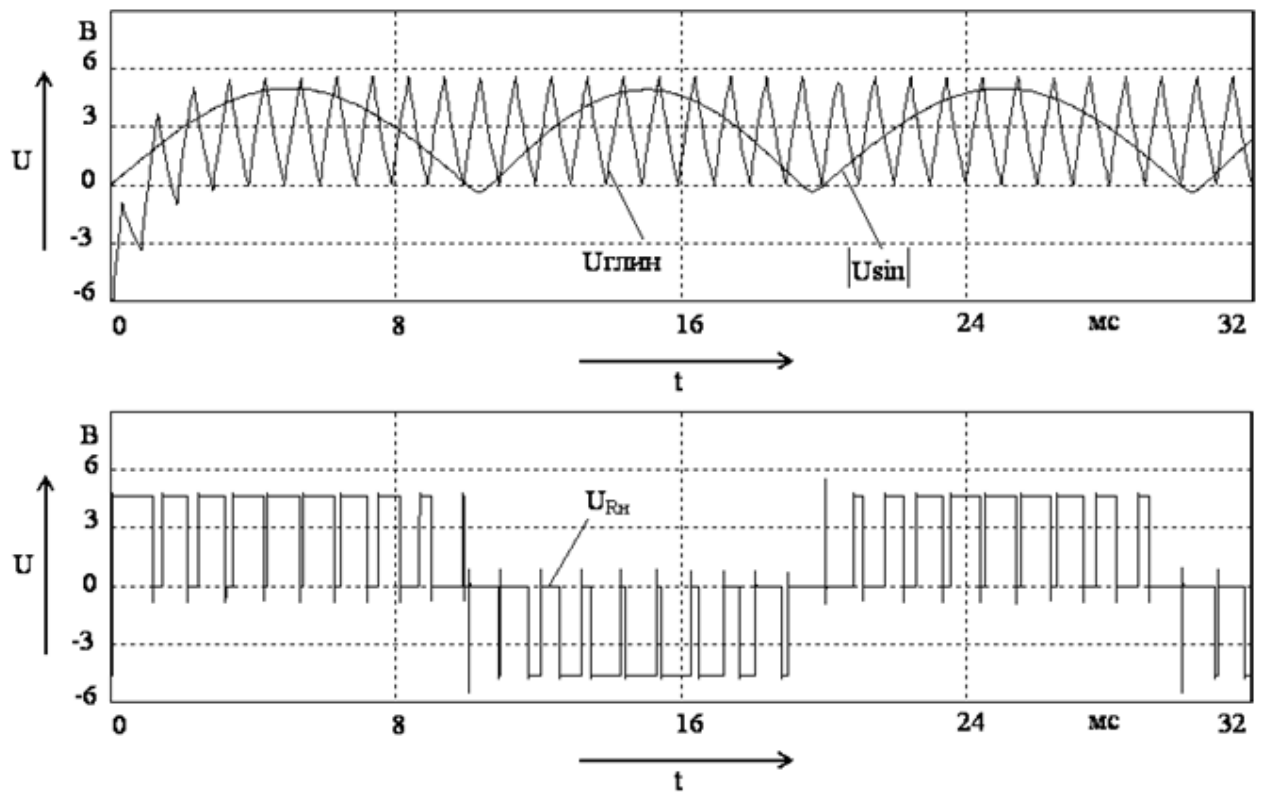


Рисунок 18 – Временные диаграммы схемы ШИМ с модулем синусоиды

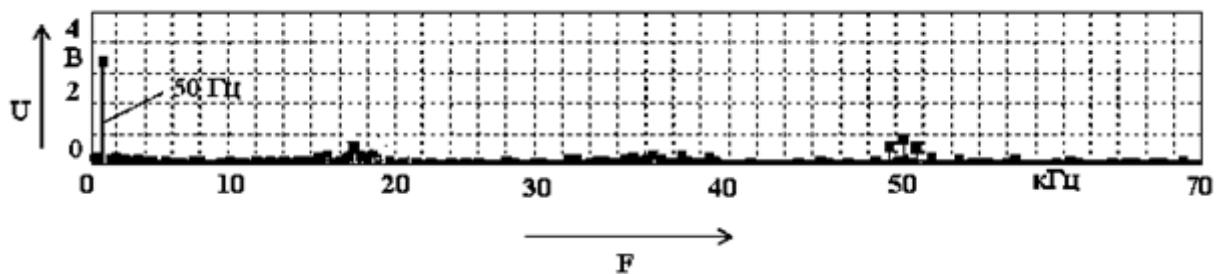


Рисунок 19 – Диаграмма спектрального анализа схемы ШИМ с модулем синусоиды.

Определим дополнительные потери в стали магнитопровода при фильтрации высокочастотной гармоники на 50 кГц из соотношения:

$$\frac{P_{\text{м}}}{P_{\text{м}}'} = \left(\frac{U_{\text{м1}}}{U_{\text{м2}}} \right)^2 = \left(\frac{3.395}{0.915} \right)^2 = 14$$

где $P_{\text{м}}$ - потери на частоте 50 Гц;

$P_{\text{м}}'$ - потери на частоте 50 кГц;

$U_{\text{м1}}$ - амплитуда напряжения гармоники на частоте 50 Гц;

U_{m2} - амплитуда напряжения гармоники на частоте 50 кГц;

Отсюда

$$P_M' = \frac{P_M}{14} = \frac{7.7}{14} = 0.55 \text{ Вт}$$

2.3.19 Общие потери в трансформаторе:

$$P = P_1 + P_2 + P_1' + P_2' + P_M + P_M' = 22 + 25 + 0,02 + 0,003 + 7,7 + 0.55 = 55.25 \text{ Вт.}$$

2.3.20 КПД трансформатора:

$$\eta = \left(1 - \frac{P}{S}\right) \cdot 100\% = \left(1 - \frac{55.25}{1000}\right) \cdot 100\% = 94,5\% .$$

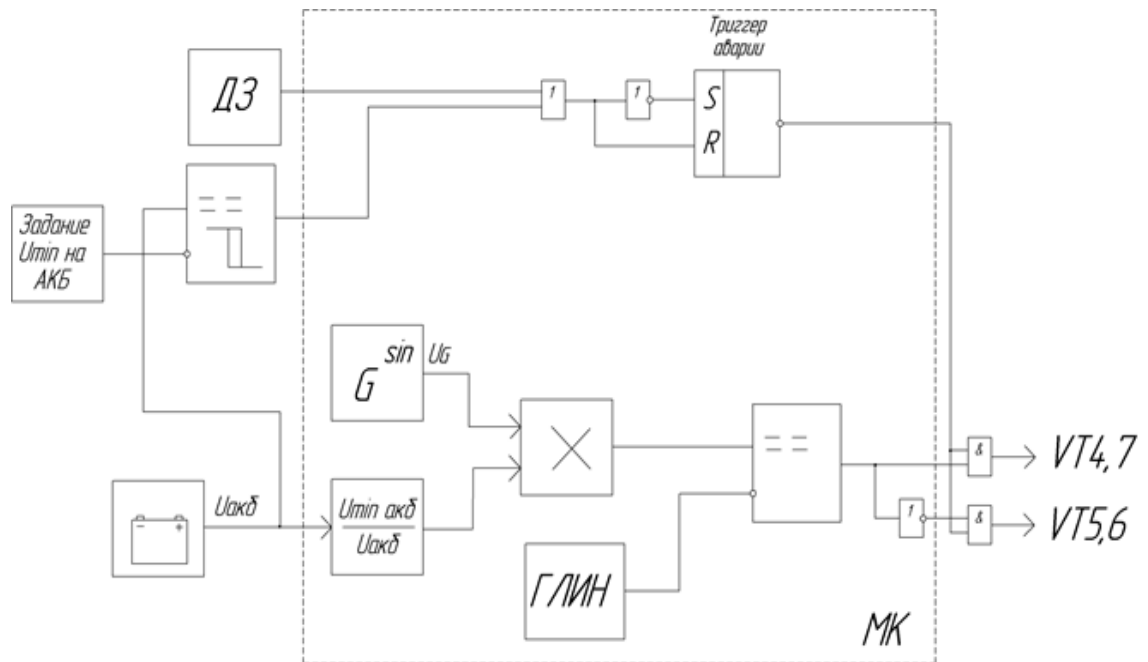
Выводы по разделу

В данном разделе произведена разработка силовой части устройства и проведено математическое моделирование ее работы. Выбраны элементы схемы. Рассчитан согласующий трансформатор.

3 Разработка системы управления

3.1. Функциональная схема системы управления

Функциональная схема системы управления показана на рисунке 20.



ГЛИН – генератор линейно изменяющегося напряжения

МК – микроконтроллер

ДЗ – драйвер защиты

Рисунок 20 – Функциональная схема системы управления.

Рассмотрим работу различных элементов системы управления на основе её функциональной схемы.

Применение широтно – импульсной модуляции позволяет получить синусоиду в качестве питающего напряжения для источника. Следовательно необходимо реализовать устройство ШИМ на мостовом инверторе.

Устройство ШИМ состоит из нескольких основных элементов:

- источник синусоидального сигнала
- генератор линейно изменяющегося (пилообразного) напряжения

- сравнивающее устройство (компаратор)

Реализовали устройство ШИМ на 8 разрядном микроконтроллер ATtiny44 из [32] со встроенным ШИМ. «В микроконтроллере ATtiny44 для генерации ШИМ-сигналов используются таймеры-счетчики. Для изменения несущей частоты ШИМ изменяется частота синхронизации таймера и вершина счета. Повышение частоты синхронизации и/или снижение вершины счета приводят к повышению частоты переполнения таймера и, как следствие, увеличивается частота ШИМ. Максимальной разрешающей способности (вершина счета 255) соответствует максимальная частота ШИМ 1МГц. Дальнейшее увеличение частоты ШИМ возможно путем уменьшения разрешающей способности, но в этом случае сокращается количество шагов при установке заполнения импульсов от 0 до 100%. Изменение содержимого регистра сравнения (MCU) влияет на заполнение импульсов. Увеличение значения MCU увеличивает заполнение импульсов. До достижения счетчиком значения из регистра MCU ШИМ - выход находится в высоком состоянии, затем переходит в низкое состояние до достижения вершины счета, после чего счетчик переходит в нулевое состояние и цикл повторяется.»[2, 3, 5]

Отличительные особенности микроконтроллера ATtiny44:

- режим снижения потребляемой мощности: 100нА при 1,8В;
- диапазон рабочего напряжения:
- 1,8В...5,5В для ATtiny44V/84V,
- 2,7В...5,5В для ATtiny44/84;
- зависимость быстродействия от напряжения питания:
- ATtiny44V/84V: 0...4МГц при 1,8В...5,5В; 0...10МГц при 2,7В...5,5В,
- ATtiny44/84: 0...10МГц при 2,7В...5,5В; 0...20МГц при 4,5В...5,5В;

Функциональная схема микроконтроллера ATtiny 44 показана на рис.21.

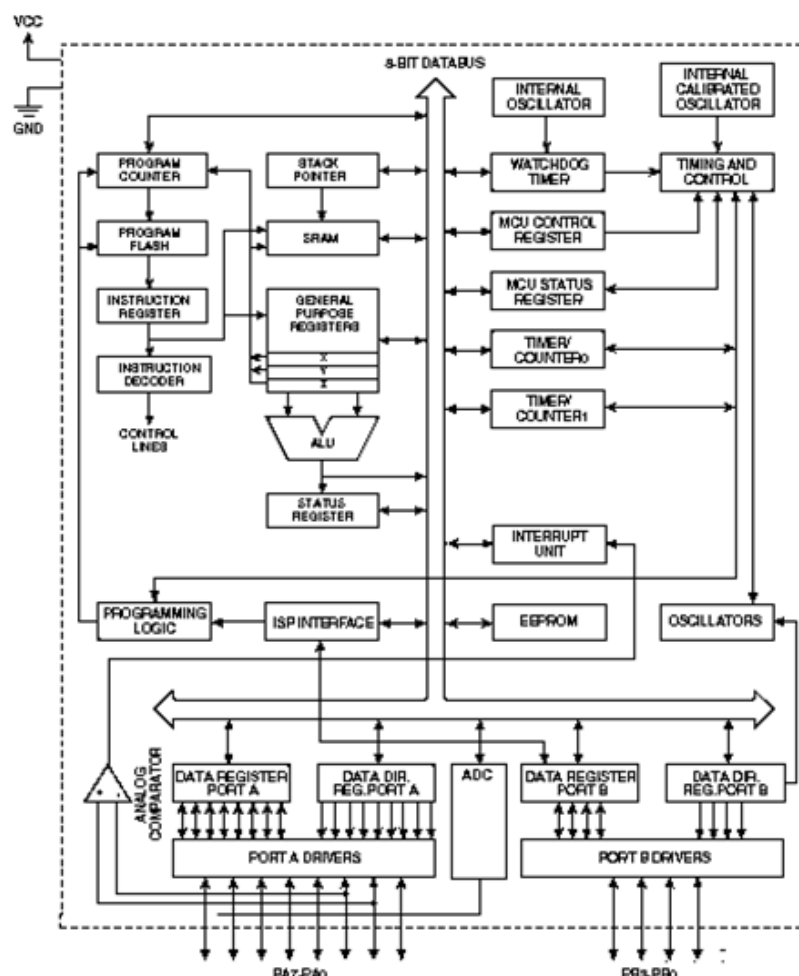


Рисунок 21 – Функциональная схема микроконтроллера ATtiny 44.

3.2 Схема управления ИБП

Схема управления ИБП следит за состоянием батареи ИБП. Когда батарея разряжается полностью (напряжение на АБ становится меньше 12 В) блок управления снимает напряжение с нагрузки. Это необходимо для предотвращения глубокого разряда батареи. Схема слежения за разрядом аккумуляторной батареи показана на рис.22.

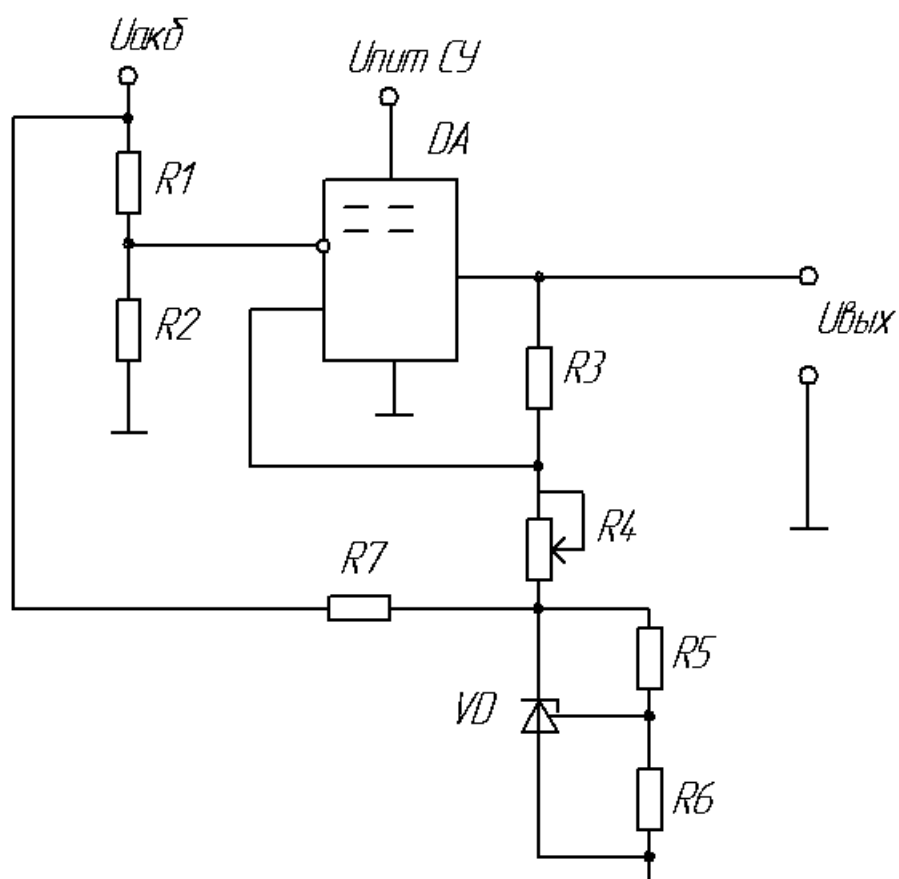


Рисунок 22 – Принципиальная схема устройства слежения за разрядом АКБ.

Пусковая характеристика данной схемы изображена на рисунке 23.

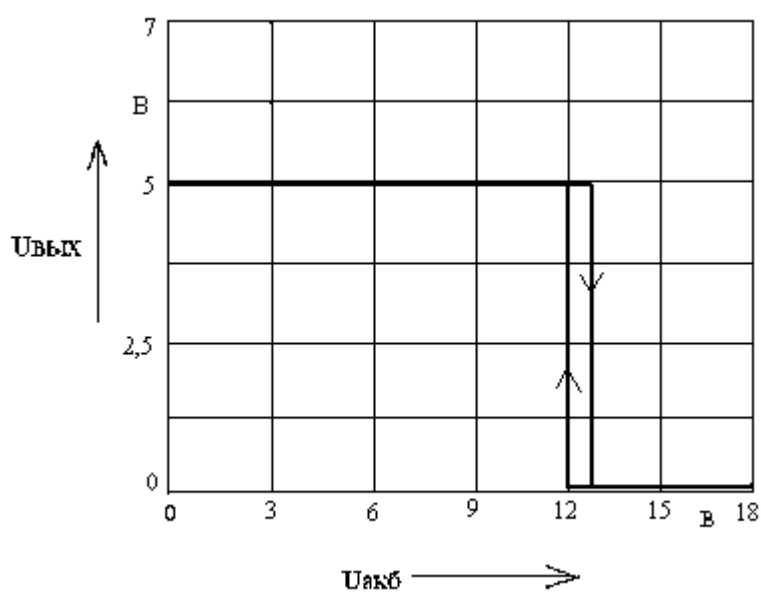


Рисунок 23 – Пусковая характеристика устройства слежения.

Имея $U_{\text{вх ср}}=12,5 \text{ В}$ и $U_{\text{вх отп}}=12 \text{ В}$, рассчитаем пассивные элементы данной схемы по формулам (3.1) и (3.2):

$$U_{\text{вх ср}}=(U_{\text{мах}}-U_{\text{см}})\cdot R4/(R3+R4) + U_{\text{см}} \quad (3.1)$$

$$U_{\text{вх отп}}=-U_{\text{см}}\cdot R3/(R3+R4) + U_{\text{см}} \quad (3.2)$$

Рассчитали $U_{\text{см}}$ по формуле:

$$U_{\text{см}}=2,5\cdot(R5+R6)/R6=12,25 \text{ В}$$

Подобрали: $R5= 2,5 \text{ кОм}$, $R6= 8,75 \text{ кОм}$

Подобрали: $R1= 6 \text{ кОм}$, $R2= 3 \text{ кОм}$

По формуле (3.1) рассчитали: $R3=1\text{Мом}$, $R4=125\text{кОм}$.

Выбрали стабилитрон BZX55C3V0-3.0В по напряжению стабилизации 2,5 В.

По полученным данным подобрали компаратор модели SE521, параметры которого приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Параметры компаратора SE521

Напряжение питания, В	$\pm 5 \dots \pm 15$
Коэффициент усиления, В/мВ	5
Напряжение смещения, мВ	5
Входной ток, нА	20000
Диапазон допустимых дифференциальных напряжений, В	5
Ток потребления, мА	5
Максимальный выходной ток, мА	10
Время переключения, нс	12

Таким образом, при $U_{\text{вх}} > U_{\text{вх ср}}$, на выходе схемы будет низкий уровень напряжения или лог. «0», а при $U < U_{\text{вх отп}}$ на выходе схемы будет высокий уровень напряжения или лог. «1». При этом сигнал с выхода компаратора поступает на вход микроконтроллера, тем самым, давая команду на

отключение или включение аккумуляторной батареи от питания силовой схемы с помощью быстродействующего реле 5П40.10G из [8,9], параметры которого указаны в таблице 10.

Таблица 10 – Параметры 5П40.10G.

Серия	Описание	Входной ключ	U _{out} , В	I _{out} , А	Вход управления	
					(DC),мА	(DC),В
5П40.10G	Быстродействующие, однополярные, с питанием по выходу	IGBT	600, 1200	10, 20, 40, 60, 80	10-25	4,5-5,5

Мощность, выделяемая на резисторах R1, R2 [27,31]:

$$P1=(Eп/(R1+R2))^2 \cdot R1=(12,25/(6000+3000))^2 \cdot 6000=0,009 \text{ Вт}$$

$$P2=(Eп/(R1+R2))^2 \cdot R2=(12,25/(6000+3000))^2 \cdot 3000=0,005 \text{ Вт}$$

Аналогично рассчитали мощность, выделяемую на остальных резисторах.

По справочнику [8] выбрали:

R1 – МЛТ – 0,125 – 6,2к ±5%;

R2 – МЛТ – 0,125 – 3к ±5%;

R3 – МЛТ – 0,125 – 1Мом ±5%;

R4 – МЛТ – 0,125 – 120кОм ±5%;

R5 – МЛТ – 0,125 – 2,4к ±5%.

R6 – МЛТ – 0,125 – 9,1к ±5%.

R7 – МЛТ – 0,125 – 5кОм ±5%.

При уменьшении напряжения на аккумуляторной батарее необходимо пропорционально увеличивать задание и формирование импульсов, для того чтобы действующее значение первой гармоники оставалось постоянным. Это приведет к увеличению ширины импульса на каждом периоде работы схемы.

Промоделируем работу устройства ШИМ с учетом разряда АКБ в системе MATLAB 6.0/SIMULINK, схема устройства показана на рисунке 24. Результаты моделирования показаны на рисунке 25.

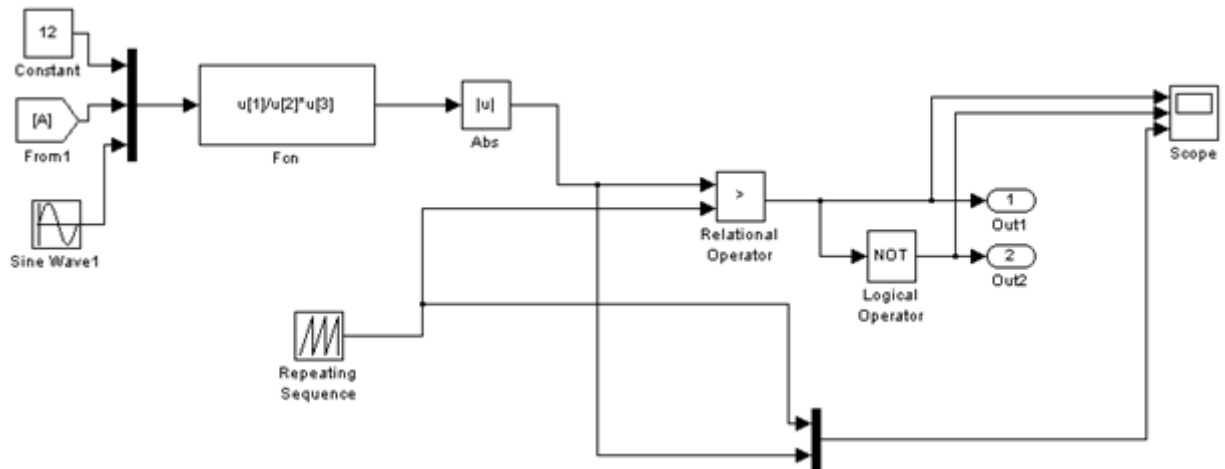


Рисунок 24 - Схема системы управления.

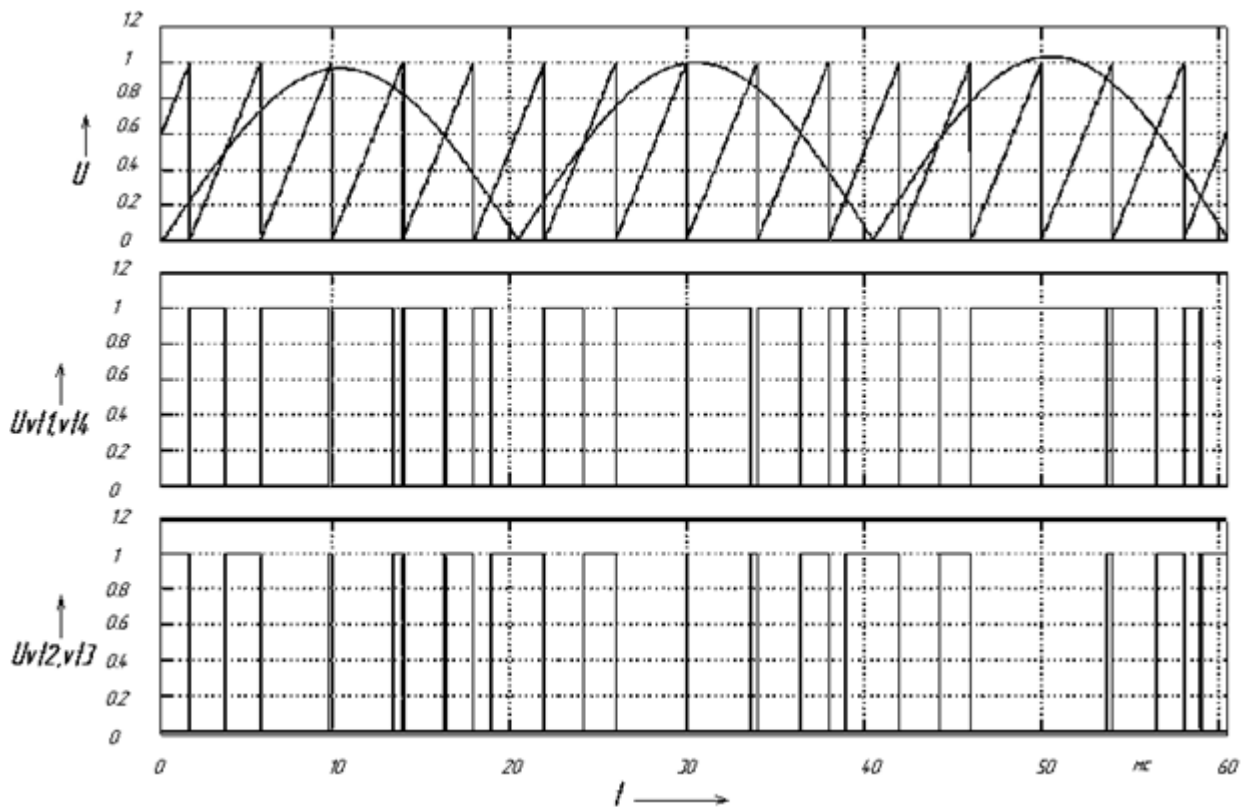


Рисунок 25 – Диаграммы работы устройства ШИМ с учетом $U_{акб}$.

Для управления N-канальными MOSFET транзисторами выбрали универсальный драйвер внешнего моста A3941 из [28]. Он также обеспечивает

режим защиты от токовых перегрузок и токов КЗ. Отличительные особенности драйвера А3941:

- мощный драйвер затворов N-канальных MOSFET-ключей
- повышающий преобразователь для работы при низком напряжении питания
- защита от сквозных токов, КЗ
- диапазон напряжения питания: 5,5В...50В

Функциональная схема драйвера А3941 показана на рисунке 26.

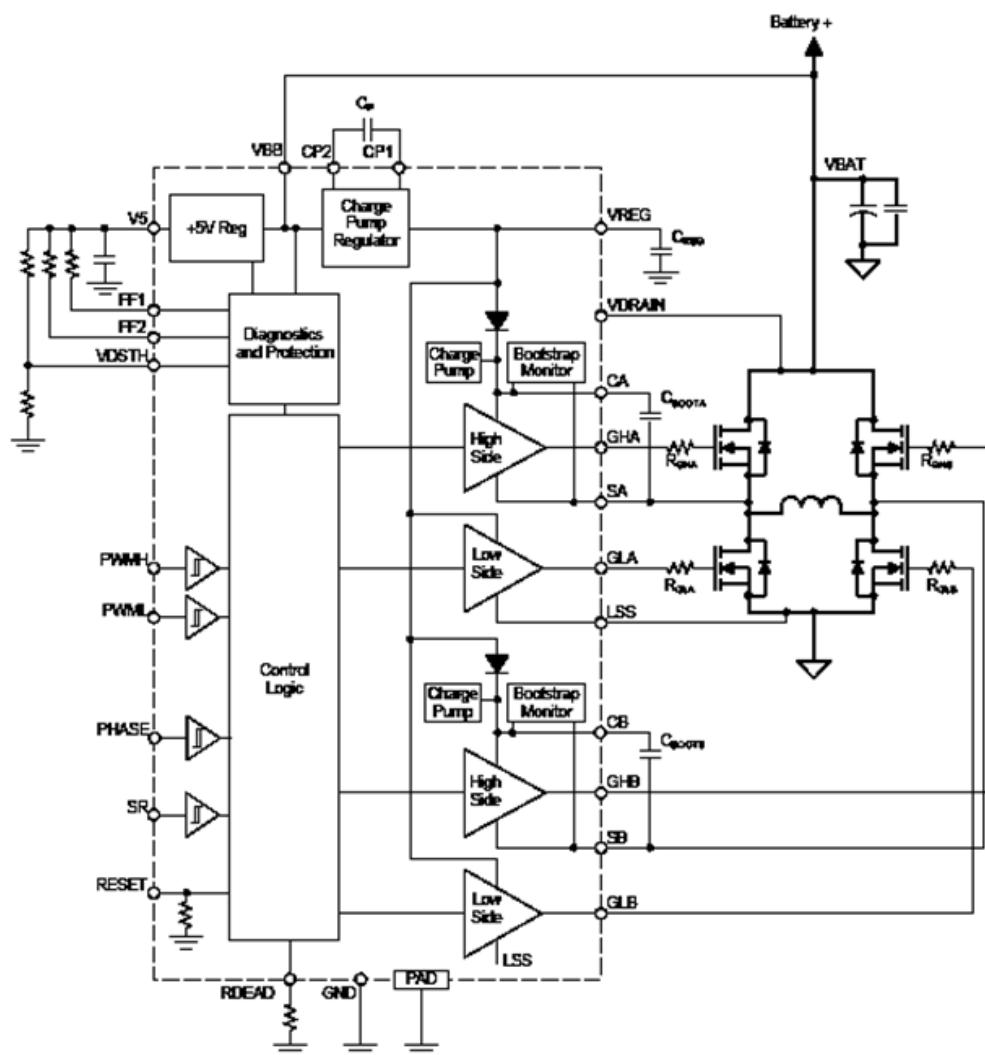


Рисунок 26 - Функциональная схема драйвера А3941.

Необходимо разработать систему анализа сети и управления, которая будет измерять среднее выпрямленное значение напряжения сети и выдавать команды на переключение с режима на режим в зависимости от его величины. Когда напряжение сети падает или пропадает совсем, схема анализа сети подает команду на переключение ИБП на режим работы от батареи. Если напряжение становится выше, ИБП снова начинает работать от сети.

Для реализации этого вопроса после фильтра – ограничителя подключили схему, преобразующую переменное напряжение сети в среднее выпрямленное её значение. Схема преобразователя показана на рисунке 27.

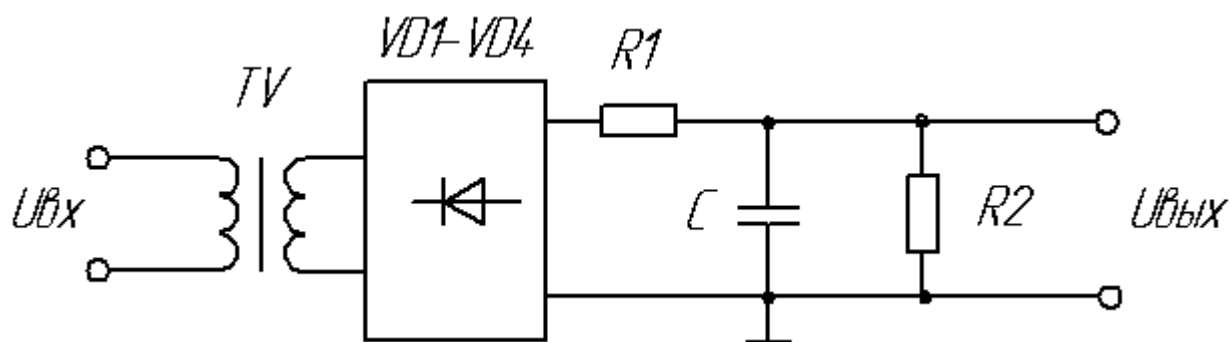


Рисунок 27 – Схема преобразователя.

В схеме преобразователя использовали понижающий трансформатор, преобразующий переменное сетевое напряжение 220 В в переменное напряжение 12 В с коэффициентом трансформации $K_T = 18$. Это напряжение выпрямляется по мостовой схеме диодами VD1-VD4 и поступает на интегрирующую цепочку. Для устойчивости работы ИБП на режиме, ИБП должен иметь небольшой гистерезис характеристики переключения. Следовательно, переключение с режима работы от сети на режим работы от батареи производится при напряжении 195 В, то обратное переключение должно происходить при напряжении 205 В. Off –line ИБП реагируют только на снижение напряжения, т.е. переключаются на работу от батареи при достижении напряжением сети некоторого граничного значения, в нашем случае 195 В. Таким образом, необходимо найти среднее выпрямленное

значение при напряжении 195 В на входе схемы преобразователя для параметра срабатывания и при напряжении 205 В для параметра отпускания. Промоделируем работу схемы преобразователя, показанную на рисунке 28, в системе MATLAB 6.0/SIMULINK.

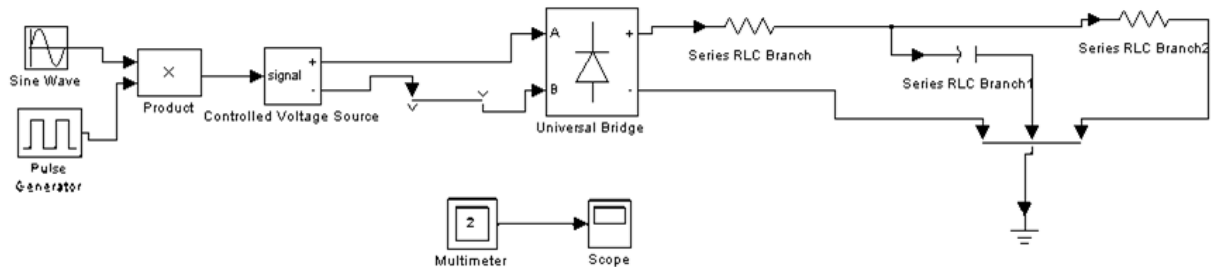


Рисунок 28 – Схема преобразователя в системе MATLAB 6.0/SIMULINK.

Скриншот временных диаграмм работы схемы в системе MATLAB 6.0/SIMULINK показаны на рисунке 29.

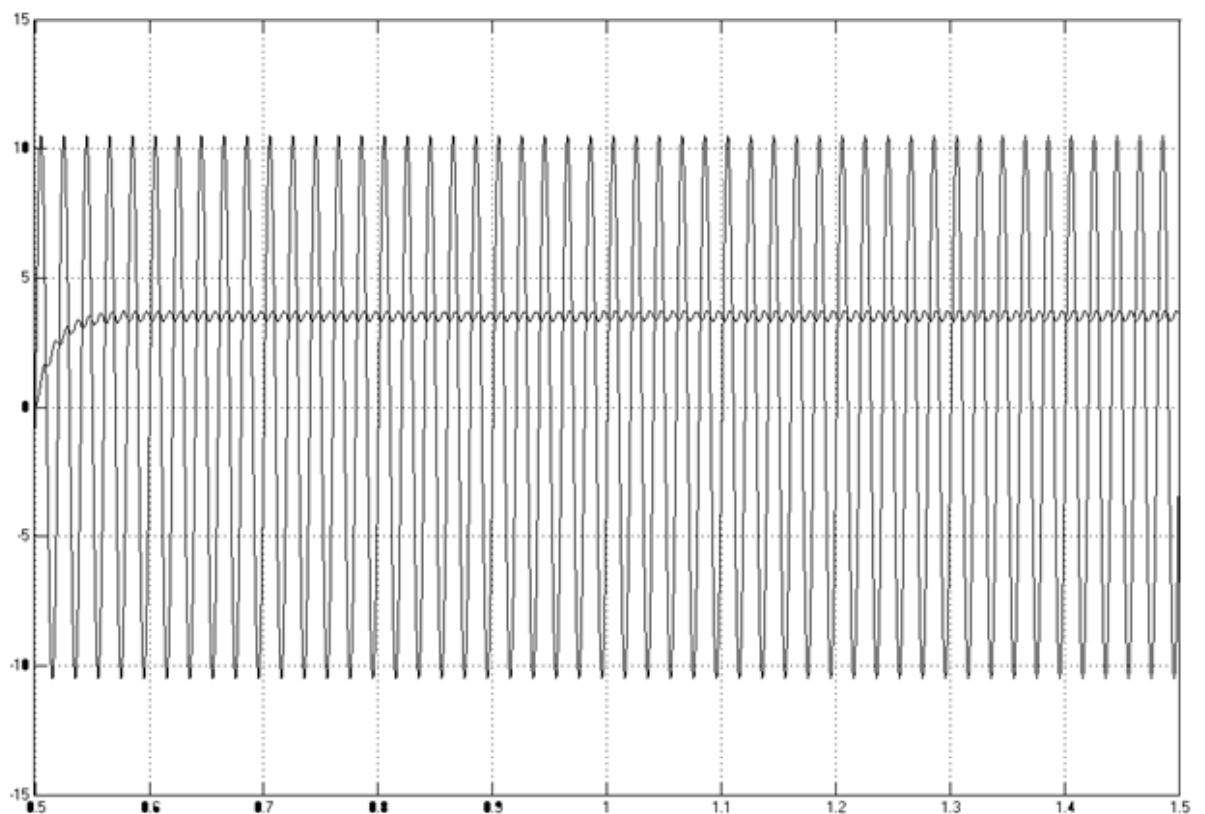


Рисунок 29 – Осциллограмма работы схемы при напряжении на входе 195 В.

Для параметра срабатывания $U_{\text{вх ср}} = 195\text{В}$ по рисунку 3.10 нашли среднее выпрямленное значение $U_{\text{вых ср}} = 3.5\text{В}$.

Для параметра отпускания $U_{\text{вх отп}} = 205\text{В}$ аналогично нашли среднее выпрямленное значение $U_{\text{вых отп}} = 4\text{В}$.

Из моделирования определили номиналы элементов $R1=R2=100\text{ Ом}$, $C=300\text{ мкФ}$.

По справочнику [11] выбрали:

$R1 - \text{МЛТ} - 0,25 - 100 \pm 5\%$;

$R2 - \text{МЛТ} - 0,25 - 100 \pm 5\%$;

Выбрали: С-К50-16А – 6,3 В – 300 мкФ $\pm 10\%$ из [10].

На вход устройства сравнения поступает напряжение со схемы преобразователя. Напряжение изменяется в пределах от 0 В до $>4\text{ В}$. На выходе устройства сравнения необходимо получить управляющие уровни напряжений для выходного коммутирующего устройства: достижение порога срабатывания и достижение порога отпускания.

Ключевым элементом данного каскада является компаратор с открытым коллектором. Для введения в его пусковую характеристику гистерезис по порогам срабатывания и отпускания построили схему, изображенную на рисунке 30.

Пусковая характеристика данной схемы изображена на рисунке 31.

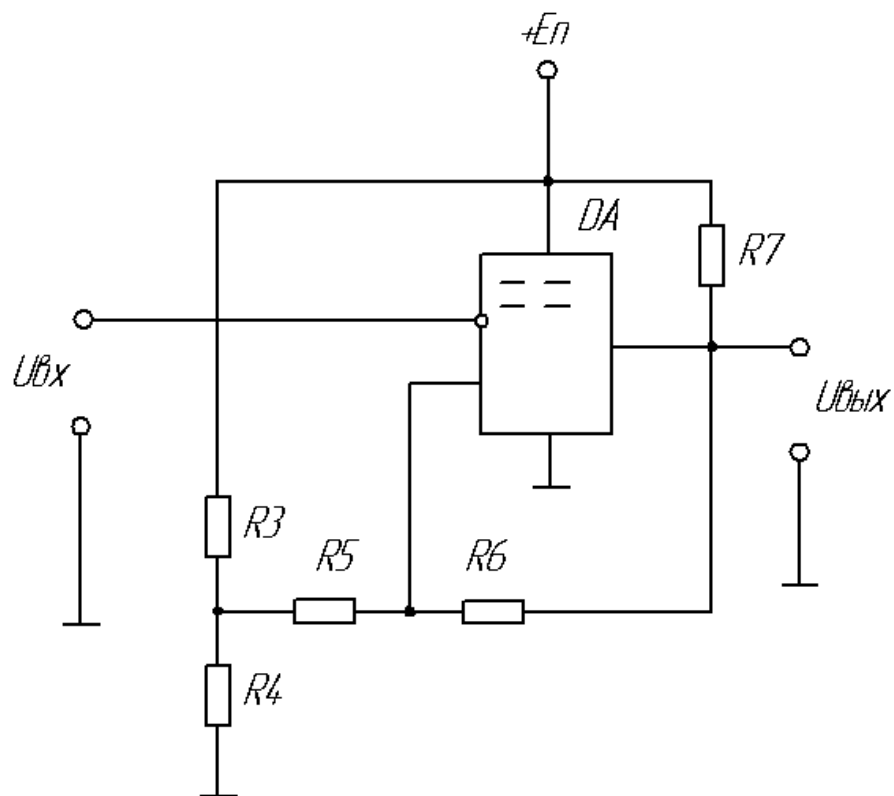


Рисунок 30 – Принципиальная схема устройства сравнения.

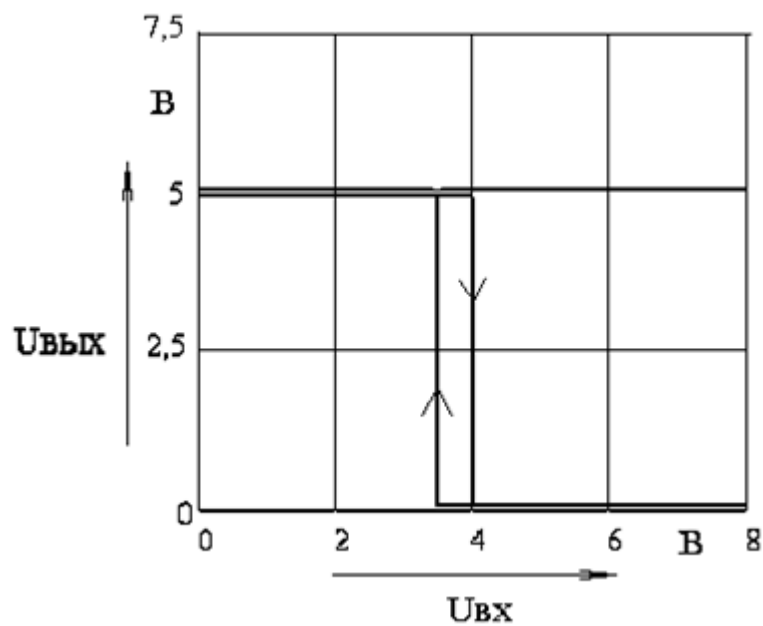


Рисунок 31 – Пусковая характеристика каскада сравнения.

Имея $U_{вх\text{ ср}} = 3,5\text{ В}$ и $U_{вх\text{ отп}} = 4\text{ В}$, рассчитаем пассивные элементы данной схемы по формулам (3.3) и (3.4):

$$U_{вх\text{ ср}} = E_{п} \cdot R_4 / (R_3 + R_4) \cdot R_6 / (R_5 + R_6) \quad (3.3)$$

$$U_{\text{вх отп}} = (E_{\text{п}} \cdot R_5 + E_{\text{п}} \cdot R_4 / (R_3 + R_4) \cdot (R_6 + R_7)) / (R_5 + R_6 + R_7) \quad (3.4)$$

Подобрали: $R_3 = 1 \text{ кОм}$, $R_4 = 2 \text{ кОм}$, $R_5 = 40 \text{ кОм}$; $R_6 = 30 \text{ кОм}$;

По формуле (3.4) рассчитали: $R_7 = 3,5 \text{ кОм}$

По полученным данным подобрали компаратор модели SE521

Таким образом, при $U_{\text{вх}} > U_{\text{вх отп}}$, на выходе схемы будет низкий уровень напряжения или лог. «0» ($U_{\text{вых}} \approx 0$), а при $U < U_{\text{вх ср}}$ на выходе схемы будет высокий уровень напряжения или лог. «1» ($U_{\text{вых}} \approx 5\text{В}$). При этом сигнал с выхода компаратора поступает на вход микроконтроллера, тем самым, давая команду на переключение ИБП на режим работы от батареи или режим работы от сети от сети.

Мощность, выделяемая на резисторах R_2 , R_3 , R_6 :

$$P_2 = (E_{\text{п}} / (R_2 + R_3))^2 \cdot R_2 = (12 / (1000 + 2000))^2 \cdot 1000 = 0,01 \text{ Вт}$$

$$P_3 = (E_{\text{п}} / (R_2 + R_3))^2 \cdot R_3 = (12 / (1000 + 2000))^2 \cdot 2000 = 0,02 \text{ Вт}$$

$$P_6 = (E_{\text{п}} / R_6)^2 \cdot R_6 = (12 / 3000)^2 \cdot 3000 = 0,03 \text{ Вт}$$

Аналогично рассчитали мощность, выделяемую на R_4 и R_5 .

По справочнику [11] выбрали:

R_3 – МЛТ – 0,125 – 1к $\pm 5\%$;

R_4 – МЛТ – 0,125 – 2,2к $\pm 5\%$;

R_5 – МЛТ – 0,125 – 40к $\pm 5\%$;

R_6 – МЛТ – 0,125 – 30к $\pm 5\%$;

R_7 – МЛТ – 0,125 – 3,3к $\pm 5\%$.

Оценочная мощность трансформатора должна быть:

$$P_{\text{мп1}} = P_1 + P_2 = 0,5 \text{ Вт}$$

где P_1 – мощность, выделяемая на резисторе R_1 .

P_2 – мощность, выделяемая на резисторе R_2 .

Из [21] по требуемому напряжению питания выбрали однофазный трансформатор ТП112-13 с параметрами, приведенными в таблице 11.

Таблица 11 – Параметры трансформатора ТП112-7

Номинальная выходная мощность, Вт	7.2
Напряжение на первичной обмотке (U1), В	220
Напряжение на вторичной обмотке (U2), В	12
Номинальный ток, А	0.61
Габаритные размеры, мм	43x36x40
Масса, кг	0,11

На вторичной обмотке трансформатора получаем переменное напряжение 12В. Это напряжение выпрямляется по мостовой схеме диодами VD1-VD4. Требуемые параметры диодов: максимальный прямой ток более 0.1А, максимальное обратное напряжение не менее 12 В.

Из [28] выбрали диодный мост B05S, параметры которого приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Параметры диодного моста B05S

Прибор	Параметр		
	$I_{пр\ max}$	$U_{обр\ max}$	$U_{прVD\ max}$
B05S	0.5 А	50 В	1.1 В

3.3 Схема питания микроконтроллера

Для питания микроконтроллера и устройства сравнения необходимо стабилизированное напряжение 5 В. Схема, обеспечивающая питание элементов показана на рисунке 32 [22].

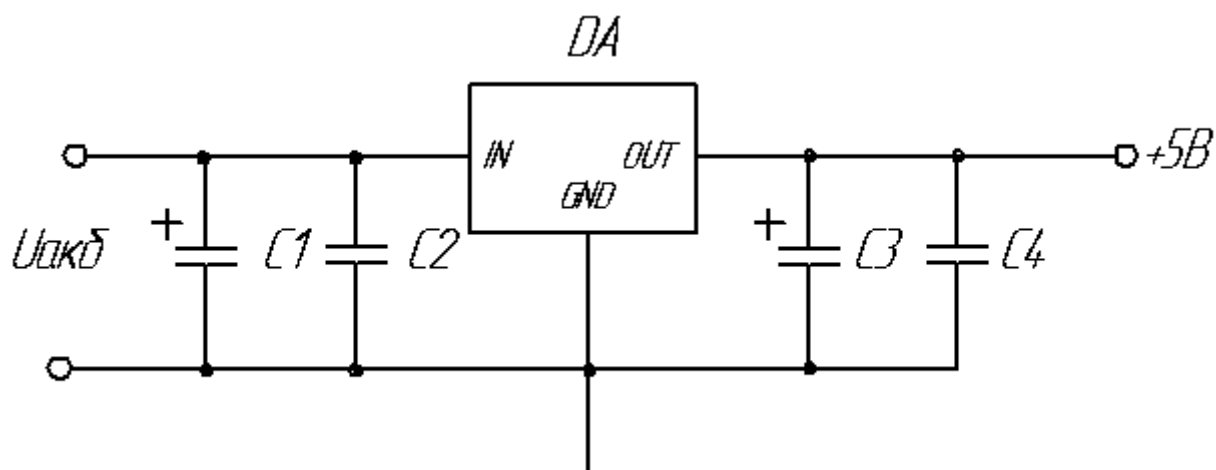


Рисунок 32 – Принципиальная схема питания.

Стабилизатор напряжения выбрали KIA 7805 из [29] с номинальным напряжением стабилизации 5В.

Конденсаторы C1, C2, C3, C4 выбираем из электрической схемы стенда МКС-51 [15]:

C1 – Chang 1000-25В;

C2 – Murata 0,1-50В;

C3 - Chang 100-25В;

C4 - Murata 1,0-50В.

Полная схема управления, разработанная в данном разделе изображена на рисунке 33, выбранные элементы перечислены в приложении А.

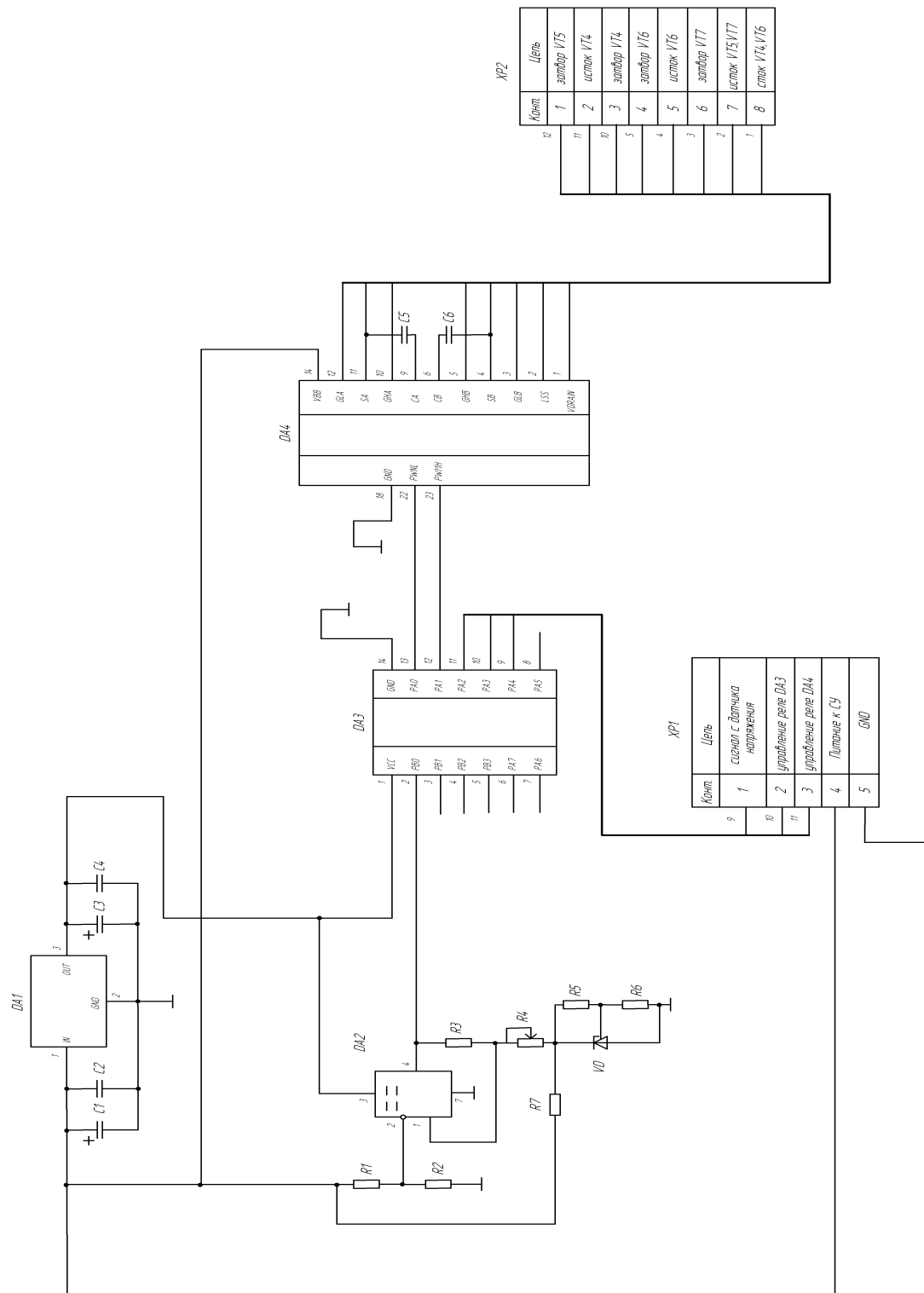


Рисунок 33 Система управления

Выводы по разделу

В данном разделе разработана система управления устройством. Проведено математическое моделирование ее работы. Выбраны элементы.

Заключение

В ходе данной ВКР сетевой источник бесперебойного питания, имеющий выход с постоянным и переменными напряжениями.

В ходе ВКР были решены задачи

- Обзор состояния вопроса
- Разработка силовой части схемы
- Разработка системы управления
- Проведение математического моделирования работы

Данные задачи решены в 3 главах работы.

В ходе работы теоретически рассчитаны параметры системы, разработаны схемы и выбраны элементы, произведено математическое моделирование работы. Для расчета и моделирования режимов работы электрической схемы использовались программные пакеты MatLab /Simulink. Математические расчеты были проведены в пакете MathCad.

В данной работе произведена разработка сетевого источника бесперебойного питания, имеющего выход с постоянным и переменными напряжениями. Выполнен обзор состояния вопроса, расчет электрической схемы, проведено математическое моделирование. Разработанная система имеет гальваническую развязку выходных напряжений и способна работать в случае пропадания напряжения в питающей сети. Система может быть применена в качестве источника бесперебойного питания для потребителей постоянного и переменного напряжений.

При оформлении работы пользовались литературой [15, 16, 17, 24].

Список используемой литературы

1. Аккумуляторы, батарейки и другие источники питания [Электронный ресурс] URL:<http://www.powerinfo.ru> (дата обращения: 29.04.2023)
2. Голубцов М.С. Микроконтроллеры AVR: от простого к сложному. –М.:Солон-Пресс.2005.-304с.:ил.
3. Гребнев В.В. Микроконтроллеры семейства AVR.– М.:РадиоСофт, 2002. -176с.:ил.
4. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. Пособие для приборостроит. Спец. Вузов. –М.: Высш. шк.1991.- 622 с.
5. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Classic фирмы ATMEL.–М.:Додэка, 2004.-288 с.:ил.
6. Забродин Ю.С. Промышленная электроника / Ю.С. Забродин - М.: Высшая школа, 1982.- 496с.
7. Зиновьев, Г.С. Основы силовой электроники: учеб.пособ./ Зиновьев, Г.С. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. - 664с.
8. Каталог электронных компонентов [Электронный ресурс]. URL: [http:// www.platan.ru](http://www.platan.ru) (дата обращения: 17.05.2023)
9. Каталог электронных компонентов [Электронный ресурс]. URL: [http:// www.chip-dip.ru](http://www.chip-dip.ru) (дата обращения: 17.05.2023)
10. Конденсаторы: Справочник / Четверков И.И., Дьяконов М.Н, Присяжков В.И. и др.: Под ред. Четверкова И.И., Дьяконова М.Н.-М.: Радио и связь. -1993. -392с.: ил.
11. Кучеров Д.П. Источники питания ПК и периферии. Издание 2-ое, переработанное и дополненное.-СПб: Наука и техника, 2002.-352стр.
12. М.В.Позднов, Основы преобразовательной техники: Методические указания по проведению курсового проектирования/ М.В.Позднов. - Тольятти: ТГУ, 2017.– 32 с. – 50 экз.

13. Масленников М.Ю. Справочник разработчика и конструктора РЭА. –М.: Радио и связь, 1988.-300с.: ил.
14. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника / В.И. Мелешин - М.: Техносфера, 2006.- 632с.
15. Методические указания по оформлению выпускных квалификационных работ по программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры : [Электронный ресурс]. URL: [https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_\(Diplom\)](https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_(Diplom)) / Оформление ВКР (Дата обращения: 18.02.2021)
16. Положение о выпускной квалификационной работе: утв. решен. учен. совет. от 21.11.2019 решение №254 : [Электронный ресурс]. URL: [https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_\(Diplom\)](https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_(Diplom)) / Положение о ВКР (Дата обращения: 18.02.2021)
17. Порядок обеспечения самостоятельности выполнения письменных работ в ТГУ : [Электронный ресурс]. URL: [https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_\(Diplom\)](https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_(Diplom)) / Положение о Антиплагиате (Дата обращения: 18.02.2021)
18. Разработка понижающего преобразователя без секретов. [Электронный ресурс]. URL:<http://www.dsioffe.narod.ru/articles/buck.doc> (дата обращения: 01.02.2023)
19. Семёнов Б.Ю. Силовая электроника для любителей и профессионалов. – М.: СОЛОН-Р 2001. – 327с. ил.
20. Семёнов Б.Ю. Силовая электроника: от простого к сложному. – 2 изд., испр - М.: СОЛОН-Пресс, 2015. – 416с.: ил.
21. Сидоров И.Н. и др. Малогабаритные трансформаторы и дроссели: Справочник / И.Н. Сидоров, В.В. Мукосеев.-М.: Радио и связь, 1985. – 416с., ил.
22. Фрунзе А.В. Микроконтроллеры это же просто. –М.:Скимен, 2002.-336с.ил

23. Электрические конденсаторы и конденсаторные установки: Справочник / В.П. Берзан, Б.Ю.Геликман, М.Н. Гураевский и др.; Под ред. Г.С. Кучинского. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 656 с.: ил.
24. Электроника и нанoeлектроника, управление в технических системах, электроэнергетика и электротехника. Выполнение бакалаврской работы / сост. Позднов М.В., Прядилов А.В. - Тольятти: ТГУ, 2019. - 41 с.
25. Batteries types, differences and features. // Copyright. 2007-2009. URL: <http://www.powerinfo.com/accumulatortype.php>. (Дата обращения: 21.05.2023).
26. DC-DC Converter Technologies for Electric/Hybrid Electric Vehicles [Электронный ресурс]. URL: <http://www.powerguru.org/dc-dc-converter-technologies-for-electrichybrid-electric-vehicles/> (дата обращения: 07.05.2023)
27. Electrical resistance and conductance [Электронный ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_resistance_and_conductance (дата обращения: 17.05.2021)
28. Electronic Components Datasheets [Электронный ресурс] URL: <http://www.datasheets.ru> (дата обращения: 17.02.2021)
29. LM78XX / LM78XXA 3-Terminal 1 A Positive Voltage Regulator [Электронный ресурс]. URL:<https://static.chipdip.ru/lib/164/DOC001164647.pdf> (дата обращения: 17.05.2021)
30. Ni-Cd, Ni-MH, Li-Ion batteries. Overview. // Radio force. 2013. [Электронный ресурс] URL: <http://www.radiosila.com/lastnews/363-ni-cd-ni-mh-li-ion-akkumulator.html>. (Дата обращения: 21.05.2023).
31. Resistor [Электронный ресурс]. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Resistor> (дата обращения: 17.05.2023)
32. S. A. Prasad, B. S. Kariyappa, R. Nagary, S. K. Thakur, Microcontroller Based AC Power Controller, Wireless Sensor Network, Vol. 1, Issue 2, Jul 2009, pp. 76-81.
33. Sahdev S.K. Basic Electrical Engineering. Pearson India, 2015. P.768

Приложение А
Перечень элементов

Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Перв. примен.	Конденсаторы		
	C1,C4	K73-17-16B-0,1 мкФ±10%	2
	C2	K73-17-16B-0,47 мкФ±10%	1
	C3	K73-17-16B-0,15 мкФ±10%	1
	C5	K73-17-16B-0,0047 мкФ±10%	1
Справ. №	C6	K73-17-10B-0,0047 мкФ±10%	1
	C7	K73-17-16B-4,7 мкФ±10%	1
	C8	XR-400B-10 мкФ±10%	1
	C9	K50-16A-6,3B-300 мкФ±10%	1
Подп. и дата	Резисторы		
	R1,R4	M/IT-0,125-150 кОм±5%	2
	R2	M/IT-0,125-10 кОм±5%	1
	R3	M/IT-0,125-33 кОм±5%	1
	R5	M/IT-0,125-15 МОм±5%	1
	R6	M/IT-0,125-6,2 кОм±5%	1
	R7	M/IT-0,125-5,1 кОм±5%	1
	R8	M/IT-0,125-18 Ом±5%	1
	R9,R10	M/IT-0,125-3 кОм±5%	2
	R11	M/IT-0,125-22 Ом±5%	1
	R12	S20K275	1
	R13,R14	M/IT-0,25-100 кОм±5%	2
	R15	M/IT-0,125-1 кОм±5%	1
	R16	M/IT-0,125-2,2 кОм±5%	1
	R17	M/IT-0,125-40 кОм±5%	1
	R18	M/IT-0,125-30 кОм±5%	1
	R19	M/IT-0,125-3,3 кОм±5%	1
Инв. № подл.	24-110304.38/09.006.03.ПЗ		
	Изм.	Лист	№ докум.
Взам. инв. №	Разраб.	Сохинозаров С.О.	Подп.
	Пров.	Позднов М.В.	Дата
Подп. и дата	Силовая часть схемы		
Инв. № подл.	Перечень элементов		
Н.контр.	ТГУ, Элб-2001а		
Утв.			

Копировал

Формат А4

Продолжение Приложения А

[illegible]

Продолжение Приложения А

Перв. примен.	Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание				
		Конденсаторы						
	C1	Chang-1000-25B	1					
	C2	Murata-0.1-50B	1					
	C3	Chang-100-25B	1					
	C4	Murata-1-50B	1					
Справ. №	C5,C6	K53-1A-6,3B-0,1мкФ±10%	2					
		Микросхемы						
	DA1	KIA 7805	1					
	DA2	SE521	1					
Подп. и дата	DA3	ATtiny 44	1					
	DA4	A3941	1					
		Резисторы						
	R1	МЛТ-0,125-6,2 кОм±5%	1					
Инв. № докл.	R2	МЛТ-0,125-3 кОм±5%	1					
	R3	МЛТ-0,125-1 МОм±5%	1					
	R4	МЛТ-0,125-120 кОм±5%	1					
	R5	МЛТ-0,125-2,4 кОм±5%	1					
	R6	МЛТ-0,125-9,1 кОм±5%	1					
	R7	МЛТ-0,125-5 кОм±5%	1					
Взам. инв. №								
Подп. и дата		Разъемы						
	XP1	WF-5	1					
	XP2	WF-8	1					
Инв. № подл.								
24-110304.38/09.006.04.ПЗ								
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Система управления Перечень элементов	Лит.	Лист	Листов
Разраб.	Сохибназаров С.О.						1	1
Пров.	Позднов М.В.							
Н.контр.								
Утв.						ТГУ, Элб-2001а		
Копировал						Формат А4		